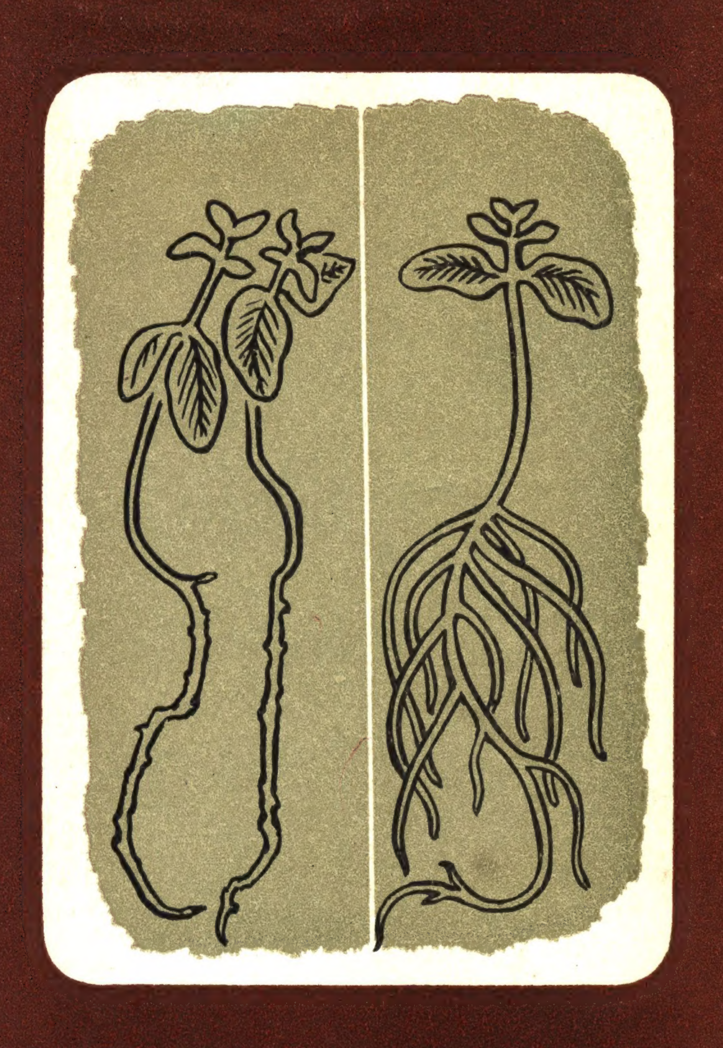
63



Ф. И. КАБАНОВ

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И РАСТЕНИЯ

Ф. И. КАБАНОВ

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И РАСТЕНИЯ

Пособие для учащихся

МОСКВА „ПРОСВЕЩЕНИЕ“ 1977



631.8
К 12

Кабанов Ф. И.

К 12 Микроэлементы и растения. Пособие для учащихся. М., «Просвещение», 1977.

136 с. с ил.

Данное пособие дополняет материал учебника химии о микроэлементах, в нем раскрыто значение микроэлементов для растений и почвы, показаны способы использования микроудобрений.

К $\frac{60601-521}{103(03)-77}$ 230—77 **631.8**

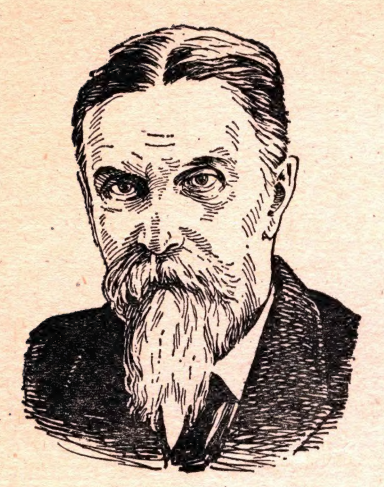
ПРЕДИСЛОВИЕ

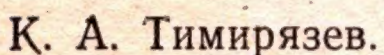
Грандиозные задачи поставил XXV съезд нашей партии перед сельским хозяйством. В 1980 г. в стране будет производиться 143 млн. т минеральных удобрений. Ежегодный валовой сбор зерна достигнет 215—220 млн. т.

Решения, принимаемые партией и правительством нашей страны по повышению урожайности и увеличению производства минеральных удобрений, являются хорошей основой для всестороннего внедрения в практику сельского хозяйства микроудобрений. Наукой и передовой практикой доказано, что применение небольших доз микроудобрений приводит к значительному увеличению урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животноводства. При этом повышается также качество сельскохозяйственной продукции (увеличивается содержание белковых веществ, витаминов, повышается сахаристость и т. д.).

Что же представляют собой микроудобрения? Это удобрения, имеющие в своем составе микроэлементы, нужные растениям в чрезвычайно малом количестве. Ученые подсчитали, что содержание микроэлементов в растениях составляет всего 0,01—0,00001%. Так, например, в сахарной свекле при урожае корней около 300 ц с 1 га содержится следующее количество микроэлементов: бора — 0,16 кг, марганца — 0,50 кг, меди — 0,05 кг, цинка — 0,19 кг, кобальта — 0, 002 кг.

Разработкой научных основ применения микроэлементов, связанных с биологической фиксацией молекулярного азота растениями, занимались выдающийся русский физиолог К. А. Тимирязев и основоположник советской агрохимии Д. Н. Прянишников. Академик В. И. Вернад-




К. А. Тимирязев.



Д. Н. Прянишников.

ский, показавший связь геохимических процессов, непрерывно происходящих в земной коре, с эволюцией химического элементарного состава растительных и животных организмов в природных условиях, укрепил представление о микроэлементах, как об элементах, необходимых растениям. Он по праву может считаться одним из создателей учения о микроэлементах.



В. И. Вернадский.

Недостаток усваиваемых форм целого ряда микроэлементов приводит к многим болезням растений (пустозернистость злаков, серая пятнистость овса, бактериоз льна, сердцевидная гниль и дуплистость свеклы, пробковая пятнистость яблок и др.).

Низкое содержание микроэлементов в кормовых культурах влияет на рост и продуктивность сельскохозяйственных животных. Например, в районах, где в кормах имеется мало иода, у домашних животных раз-

вивается зоб, а недостаток меди и кобальта приводит к анемии (малокровию) у животных.

Применяя микроэлементы как добавки к комбикормам, можно не допустить заболевания животных, улучшить их состояние и продуктивность. Создание рациональной системы питания растений возможно только с учетом достижений в области теоретических исследований по макро- и микроэлементам. Например, при высокой обеспеченности азотными удобрениями увеличивается потребность растений в меди, после известкования кислых почв — в боре.

Микроудобрения применяют в зависимости от биологических особенностей возделываемых культур. Молибден эффективен при внесении его под бобовые и овощные культуры особенно на кислых, дерново-подзолистых почвах и вновь освоенных торфяниках. Борное удобрение необходимо сахарной свекле, льну, овощным и бобовым культурам.

Потребность сельского хозяйства СССР в микроудобрениях возрастает с увеличением урожайности сельскохозяйственных культур. По расчетам ученых в 1980 г. необходимо будет внести на всю удобряемую площадь страны 2585 т борных, 885 т молибденовых и 55 720 т марганцовых микроудобрений.

Можно без преувеличения сказать, что наряду с азотными, фосфорными и калийными туками микроудобрениям принадлежит важная роль в повышении продуктивности земледелия.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПРИРОДЕ

Известно, что для нормального роста и развития растениям необходимы вода, воздух, свет, тепло и питательные вещества. Эти факторы играют важнейшую роль в жизни растений.

Азот, фосфор, калий, кальций, магний, железо содержатся в растениях в относительно больших количествах. Их называют макроэлементами.

Бор, марганец, медь, цинк, кобальт, молибден и некоторые другие элементы находятся в растениях в незначительных количествах и называются микроэлементами (табл. 1).

Таблица 1

Среднее содержание основных макро- и микроэлементов в растениях

Название элемента	Среднее содержание элемента в растениях, мг/кг сухого вещества
Макроэлементы:	
Азот	3000
Фосфор	700
Калий	3000
Микроэлементы:	
Бор	1,0
Медь	7,0—20,0
Цинк	10,0—40,0
Кобальт	0,2—0,4
Молибден	10—50
Марганец	10—50

Всего лишь 50 лет назад считалось, что около десяти элементов, составляющих основную массу живого вещес-

тва (~99,4%) таких, как углерод, кислород, водород, азот, фосфор, калий, кальций, магний, железо и сера, вполне достаточно для нормального роста растений. В настоящее время учеными доказано, что без микроэлементов невозможна нормальная жизнедеятельность растительных и животных организмов.

Бор, марганец, медь, цинк и другие микроэлементы по их количеству в земной коре принадлежат к распространенным элементам. Но содержание этих элементов неодинаково в различных почвах страны.

Исследования показали, что растения усваивают из почвы только те микроэлементы, которые переходят в почвенный раствор. Однако не все почвы содержат достаточное количество растворимых форм микроэлементов. Недостаток в микроэлементах восполняется в настоящее время введением в почву микроудобрений, содержащих бор, магний, марганец, цинк и др.

В связи с тем что эффективность микроудобрений в значительной мере зависит от свойств почв, остановимся кратко на их характеристике.

Подзолистые почвы бесструктурны, содержат мало перегноя и питательных веществ для растений.

Дерновые почвы по сравнению с подзолистыми более богаты перегноем и отличаются высоким плодородием.

Дерново-подзолистые почвы образовались под влиянием луговой и лесной растительности. Они характерны для лесо-степных районов; по составу и структуре занимают промежуточное положение между дерновыми и подзолистыми почвами. Содержание в них питательных веществ и перегноя колеблется в зависимости от принадлежности к геохимической провинции.

Торфяные почвы подразделяют на низинные и верховые торфяники. Низинные торфяники образовались из тростника, осок и другой подобной растительности. Этот торф богат азотом, но плохо доступен растениям. На этих торфяниках высокие урожаи сельскохозяйственных культур удается получать при внесении фосфорных и калийных удобрений. Верховые торфяники образовались из мхов. Они беднее азотом, чем низинные торфяники.

Черноземные почвы образовались под степной травянистой растительностью и залегают в зоне лесостепи и степи. Своим названием обязаны черному цвету верхнего слоя, богатого органическим веществом. Это наиболее

плодородные почвы не только в нашей стране, но и во всем мире.

Каштановые почвы распространены в полупустынях. Имеют признаки солонцеватости. По своему плодородию приближаются к черноземам.

Сероземы. В этих почвах, расположенных на юго-востоке страны, содержание органического вещества иногда даже ниже, чем в дерново-подзолистых почвах. Тем не менее при орошении эти почвы обеспечивают получение высоких урожаев многих ценных культур и особенно хлопчатника.

Перечисленные выше почвы содержат также неодинаковое количество микроэлементов.

Бор ученые считают одним из первых среди изученных микроэлементов и важным по своему значению в минеральном питании растений. Он играет особую роль в биохимических процессах, протекающих в растительных организмах. Одно из соединений бора — бура $Na_2B_4O_7$ — было известно еще древним алхимикам и применялось ими более 1000 лет назад. Название «бор» происходит от арабского слова «борак», которым в то время называли белые кристаллические соли, в том числе и буру. Первооткрывателем элементарного бора считают французских ученых Жозефа Гей-Люссака и Луи Тенера, которые в 1808 г. при нагревании борной кислоты получили оксид бора B_2O_3, а затем восстановили его металлическим калием до бора.

В настоящее время бор известен в двух аллотропических модификациях (разновидностях) — аморфной и кристаллической. Интересно отметить, что аморфный бор в виде порошка бурого цвета получают путем восстановления оксида бора B_2O_3 магнием или натрием:

$$B_2O_3 + 3Mg = 2B + 3MgO + Q$$

Кристаллический бор получают путем кристаллизации его из расплавленного алюминия. Такой бор содержит небольшое количество алюминия и обладает твердостью, почти равной твердости алмаза.

В концентрированных щелочах бор растворяется с выделением водорода:

$$2B + 2KOH + 2H_2O = 2KBO_2 + 3H_2$$

а концентрированные азотная и серная кислоты окисляют этот элемент в борную кислоту:

$$B + 3HNO_3 = H_3BO_3 + 3NO_2$$

Хотя бор и принадлежит к числу рассеянных элементов, однако содержание его в земной коре составляет $1{,}4 \cdot 10^{-3}\%$ по массе, что ставит его в один ряд с наиболее распространенными элементами. Бор практически содержится во всех почвах, в воде морей, рек и озер. Высокое содержание бора находится в водах грязевых вулканов и нефтяных водах, а также в некоторых горячих источниках.

В нашей стране значительные месторождения борных руд с высоким содержанием бора имеются в Казахской ССР (Индерский район), на Кавказе в районе Пятигорска (залежи датолита $CaHBSiO_5$, содержащего 6% бора). В небольших количествах бор встречается в сопочных грязях Таманского и Керченского полуостровов.

Бор в природе находится в основном в виде кислородных соединений, к которым относятся борная кислота (минерал сассолин) H_3BO_3, а также бура (тинкал) $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, ашарит $2MgO \cdot B_2O_3 \cdot H_2O$ и колеманит $2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$.

Борная кислота (а точнее, ортоборная) — это бесцветные кристаллы, малорастворимые в воде. При нагревании до 140 °С она теряет воду и переходит вначале в метаборную кислоту HBO_2, а затем в тетраборную кислоту $H_2B_4O_7$ и, наконец, в оксид B_2O_3. При растворении в воде HBO_2 и $H_2B_4O_7$, так же как и B_2O_3, переходят в H_3BO_3. Бура $Na_2B_4O_7$ образуется при действии щелочи на H_3BO_3:

$$2NaOH + 4H_3BO_3 \rightarrow \underset{\text{бура}}{Na_2B_4O_7} + 7H_2O$$

Из раствора бура выделяется в виде больших бесцветных кристаллов $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$. Растворимость их тоже мала. Число почвенных соединений бора, растворимых в воде, возрастает с севера на юг. Наиболее богаты бором почвы южных областей СССР, образовавшихся на древних морских глинах и других осадочных породах. К этим почвам относятся засоленные почвы, а также сероземы и каштановые.

Дерново-подзолистые почвы, красноземы и некоторые торфяные, занимающие примерно половину всей терри-

Таблица 2

Содержание бора в почвах (по данным М. В. Каталымова)

Название почвы	Содержание бора, мг/кг сухой почвы	
	общее	растворенного в воде
Сероземы	20,0—80,0	0,7—0,5
Каштановые	5,0—15,0	0,5—1,5
Черноземы	4,0—12	0,4—1,7
Торфяные	1,0—10,0	0,05—2,5
Дерново-подзолистые .	1,5—66	0,1—0,5
Серые лесные	1,5—9,0	0,3—0,7

тории страны, содержат меньше бора (табл. 2). Если мы попытаемся сравнить различные торфяные почвы по содержанию в них бора, то увидим, что количество бора колеблется в широких пределах от 0,05 до 2,5 мг/кг сухой почвы. Особенно бедны бором торфяники. Количество бора в торфяных почвах зависит также от степени их разложения. Чем выше степень разложения торфа, тем больше бора находится в водорастворимой форме.

Исследования показали, что для растений важно не столько общее содержание бора в почвах, сколько его количество в виде соединений, которые способны растворяться в воде. К ним относятся кальциевые и магниевые борные минералы: гидроборацит $CaO \cdot MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 6H_2O$, ашарит $2MgO \cdot B_2O_3 \cdot H_2O$, которые хорошо растворяются в воде и поэтому довольно легко усваиваются растениями. Борная кислота в почве может образовывать комплексные соединения с гидроксидом алюминия $Al(OH)_3$ и железа $Fe(OH)_3$, что приводит к переходу части бора в менее доступные для растений формы.

Бор может содержаться в различных соединениях, но степень доступности этих веществ далеко не одинакова для растений. Содержание растворимого в воде бора в почвах нашей страны приведено в таблице 3.

Содержание бора обязательно учитывается в сельском хозяйстве при применении микроудобрений. В практических и научных целях необходимо иметь карту содержания бора в почвах. Такая схематическая карта валового содержания бора в почвах европейской части СССР составлена советскими учеными. На этой карте выделены

Таблица 3

Содержание растворимого бора в почвах

Почвы	Содержание бора, мг/кг почвы
Дерново-подзолистые	0,08—0,38
Черноземные	0,38—1,58
Сероземы	0,23—0,62
Каштановые	0,30—0,90

три основные почвенные области по содержанию бора. Первая область — это северная, включающая в основном зону тундры, таежную зону и содержащая наименьшее количество бора — до 24 мг/кг почвы. Вторая — средняя область — это зона лиственных лесов и лесостепная зона с содержанием бора 24—40 мг/кг почвы. И наконец, третья — южная область — это степная, пустынно-степная и горная зоны европейской части СССР с количеством бора от 40 до 100 мг/кг почвы.

В почвах нашей страны увеличение концентрации бора возрастает к востоку и югу европейской части.

Марганец. Минерал пиролюзит, содержащий марганец, был известен человечеству еще в глубокой древности. Но годом открытия элемента марганца считают 1774 г., когда его выделили в свободном состоянии.

Исходным веществом для получения многих соединений марганца служит природный пиролюзит. Если нагреть его в токе водорода до 300 °С, то можно получить зеленый порошок оксида марганца MnO_2. При окислении марганца можно получить целый ряд оксидов: MnO, MnO_2, MnO_3, Mn_2O_7. Из них для сельского хозяйства наиболее интересен MnO_2. Нерастворимый в воде оксид марганца MnO_2 хорошо растворяется в кислотах с образованием солей:

$$MnO_2 + 2HNO_3 = Mn(NO_3)_2 + NO + H_2O,$$

$$MnO_2 + 4HCl = MnCl_2 + Cl_2 + 2H_2O,$$

$$2MnO_2 + 2H_2SO_4 = 2MnSO_4 + O_2 + 2H_2O$$

Эти соли марганца также растворимы в воде. Из насыщенных растворов соли марганца выделяются в виде розовых кристаллогидратов: $MnCl_2 \cdot 4H_2O$; $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ или $MnSO_4 \cdot 5H_2O$.

Марганец относится к наиболее распространенным элементам в природе. Содержание его в земной коре составляет ~0,09%. Однако в земной коре он распределен неравномерно. Больше всего марганца сосредоточено на поверхности земли в виде малорастворимых соединений. В глубоких слоях земли марганца значительно меньше. Здесь он находится преимущественно в виде соединений, отличающихся хорошей растворимостью.

Наша страна располагает очень большими запасами марганцовых руд с высоким содержанием марганца. Широко известно Чиатурское месторождение пиролюзита на Кавказе, а также Никопольское на Украине. Немалыми запасами марганцовых руд располагают Урал, Западная Сибирь и другие места нашей страны. За рубежом значительные месторождения марганцовых руд имеются в Австралии, Южной Америке, Индии.

В небольших количествах марганец входит в состав широко распространенных горных пород, большое его скопление в природе наблюдается в виде кислородных соединений и прежде всего минерала пиролюзита, состоящего из оксида марганца MnO_2, а также других минералов — гаусманита Mn_3O_4, браунита Mn_2O_3, ромбического манганита $Mn_2O_3 \cdot H_2O$, родохрозита — марганцового шпата $MnCO_3$, родонита — кремнистого марганца $MnOSiO_2$ и др.

Из горных пород марганец извлекается водой и в виде растворимых соединений сотнями тысяч тонн в год уносится реками в моря и океаны. Тем не менее проведенные анализы морской воды показали невысокое содержание в ней марганца (10^{-7} и 10^{-6}%). Более значительное его количество было обнаружено в иле глубин океана в виде осажденного бурого гидроксида марганца $Mn(OH)_4$, который образуется окислением растворимых соединений двухвалентного марганца.

Содержание марганца в основных типах почв изучено по всей территории Советского Союза. Общее среднее содержание его в почвах равнинной части страны составляет 1 мг/кг. Однако количество марганца в пахотном слое различных почв неодинаково. Наибольшее его количество наблюдается в серых лесных почвах (табл. 4).

Для повышения урожайности важно не общее количество марганца в почве, а наличие его растворимых, доступных растениям соединений (табл. 4).

Таблица 4

Содержание марганца в почвах

Название почвы	Содержание марганца, мг/кг сухой почвы	
	общее	растворенного в воде
Дерново-подзолистые	270—720	14,0—38,0
Серые лесные	1600	2,0—8,0
Черноземы	370—840	1,6—10,6

В почвах марганец присутствует в виде ионов Mn^{2+}, Mn^{3+} и Mn^{4+}. Наибольшей растворимостью и доступностью для растений обладают соединения двухвалентного марганца, наименьшей — трех-, четырехвалентного марганца. Поскольку соединения трехвалентного марганца являются не очень устойчивыми, то в почве обычно присутствуют ионы Mn^{2+} и Mn^{4+}. В кислых почвах найдены наиболее подвижные двухвалентные формы соединений марганца, количество которых возрастает по мере протекания в почве восстановительных процессов. Это в значительной мере обусловлено применением кислых азотных удобрений (аммиачной селитры и сульфата аммония). В таких условиях происходит восстановление трех-и четырехвалентного марганца до растворимых и доступных растениям соединений двухвалентного марганца. Наоборот, в щелочных и нейтральных почвах при усилении окислительных процессов двухвалентные соединения марганца переходят в трудноусвояемую растениями форму гидроксида марганца $Mn(OH)_2$.

При дальнейшем окислении этот гидроксид переходит в почти нерастворимый оксид:

$$2Mn(OH)_2 + O_2 = 2MnO_2 + 2H_2O$$

Количество растворимых, хорошо усвояемых растениями соединений марганца в одной и той же почве может также изменяться в зависимости от ее влажности.

Весной и осенью, когда содержание влаги в почве высокое, наличие подвижных соединений марганца возрастает и растения хорошо усваивают соединения двухвалентного марганца.

К соединениям двухвалентного марганца относятся соли хорошо растворимые в воде: $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$,

$MnSO_4 \cdot 4H_2O$, $MnSO_4 \cdot 5H_2O$, $MnCl_2$ и $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, а также фосфорнокислые соединения марганца. Например, катион двухвалентного марганца образует с ортофосфорной кислотой одно-, двух- и трехзамещенные соли. Правда, не все они одинаково растворимы в воде. Если дигидрофосфат марганца $Mn(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ растворяется в воде, а гидрофосфат $MnHPO_4 \cdot 3H_2O$ слабо растворяется, то фосфат марганца $Mn_3(PO_4)_2 \cdot 7H_2O$ является труднорастворимой солью. Исследования показали, что кислые почвы содержат значительные количества растворимых дигидрофосфатов марганца, в то время как труднорастворимые фосфаты марганца находятся главным образом в нейтральных и слабощелочных почвах.

С органическими кислотами (молочной, муравьиной, уксусной) катион марганца образует соли, растворимые в воде: $Mn(C_3H_5O_3)_2 \cdot 3H_2O$, $Mn(HCO_2)_2 \cdot 2H_2O$, $Mn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 4H_2O$. Органические кислоты в основном не могут связать почвенный марганец в нерастворимые соединения. Исключение составляет оксалат марганца MnC_2O_4, представляющий собой слаборастворимую соль. Но в почве практически нет условий, которые бы способствовали накоплению этих солей.

Следует отметить, что действие марганцовых удобрений на урожай сельскохозяйственных культур очень сильно зависит от кислотности почв (показателя pH).

При каких же pH почвы необходимо вносить марганцовые удобрения? Оказывается, потребность растений в марганцовых удобрениях наблюдается при pH 5,8 и выше. Если pH почвенной среды становится ниже 5,8, то потребность растений в соединениях марганца, как правило, обеспечивается самой почвой.

Вот почему действие марганцовых удобрений, как было установлено многочисленными опытами, в большей степени проявляется на нейтральных и слабощелочных почвах, а также на почвах со слабокислой реакцией.

Медь. Этот элемент принадлежит к металлам, полезные свойства которого были издавна использованы человеком для своих нужд. Произошло это, видимо, потому, что медь чаще, чем другие металлы, можно встретить в самородках значительной величины, мимо которых не мог пройти даже первобытный человек.

Небольшие количества меди содержатся практически во всех почвах, в водах рек, морей и океанов. В природе

медь встречается в основном в виде различных соединений, однако можно увидеть и самородок этого элемента. Распространенность меди в земной коре оценивается поразному, но все ее количественные оценки находятся в пределах 0,003—0,01%. Более 150 минералов содержат медь. Из них наибольшее значение имеют медный колчедан $CuFeS_2$, медный блеск Cu_2S, красная медная руда Cu_2O, малахит $(CuOH)_2CO_3$ и многие другие.

И еще одно примечательное обстоятельство — наиболее богаты медью щелочные породы, которые содержат 0,02%.

В нашей стране главные месторождения медных руд сосредоточены в Казахстане, на Урале, в Армении и Узбекистане.

Медь в почвах преимущественно двухвалентна. Важнейшими солями меди являются сульфат меди $CuSO_4$ или медный купорос $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, хлорид меди $CuCl_2 \cdot 2H_2O$, нитрат меди $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$. Эти соли хорошо растворяются в воде. Установлено, что если медь поглощается органическими веществами, то она труднее вымывается из почвы. Этим объясняется, в частности, накопление меди в верхнем горизонте почв. Однако соединения меди в большинстве случаев весьма плохо усваивают растения. При минерализации органических веществ часть меди освобождается из жестких оков, в которые она заключена.

Однако затем медь вновь может поглощаться органическими веществами почв. Вот почему торфяно-болотные почвы, содержащие большое количество органических веществ, очень бедны медью, а растения, выращиваемые на них, страдают от недостатка этого микроэлемента.

В почвах наряду с подвижными соединениями меди имеются также нерастворимые.

К ним относятся оксиды меди Cu_2O, CuO, гидроксиды $CuOH$, $Cu(OH)_2$, карбонаты Cu_2CO_3 и др.

В результате микробиологических процессов в почве образуются органические кислоты (молочная, муравьиная, уксусная), с которыми медь дает растворимые соединения:

$$Cu(C_3H_5O_3)_2 \cdot 2H_2O,$$

$$Cu(HCO_2)_2,$$

$$Cu(C_2H_3O_2)_2 \cdot H_2O$$

Хотя эти соединения меди и связаны с органическими кислотами, но вполне доступны для растения.

Определить содержание меди во всех почвенных зонах нашей страны — не простое дело. Но такую трудоемкую работу проделали наши ученые, и теперь мы располагаем интересными сведениями о содержании меди практически во всех почвах Советского Союза.

Общее содержание меди в почвах нашей страны неодинаково и колеблется в значительных пределах — от 1 до 140 мг на 1 кг почвы (табл. 5).

Таблица 5

Общее содержание меди в почвах (по данным В. А. Ковды)

Название почвы	Общее содержание меди, мг/кг сухой почвы
Дерново-подзолистые	0,1—48,0
Торфяные	1,0— 5,0
Серые лесные	5,0—39,0
Черноземы	7,0—18,0

Значительное количество меди содержится в черноземах. Наиболее бедны медью торфяные почвы. Это объясняется тем, что в таких почвах медь прочно фиксируется органическими веществами и переходит в недоступную форму для питания растений.

Растворимые в воде соединения меди сосредоточены в почвах в виде солей минеральных и органических кислот. Нитриты, хлориды и сульфаты меди, а также комплексные соединения меди с органическими кислотами хорошо растворимы в воде.

На подвижность меди влияет увеличение степени кислотности почвы. Например, в случае применения кислых форм минеральных удобрений или просто подкисления почвенного раствора наблюдается переход соединений меди в более растворимое состояние. Другим фактором, влияющим на увеличение подвижности меди, является также минерализация органических соединений почвы.

В практике сельского хозяйства важное значение имеет не только обогащение почвы подвижными соединениями меди, но и закрепление их в пахотном слое. В этих случаях применяют известкование почв.

Более 40 лет ученые занимаются изучением влияния меди на рост и развитие различных сельскохозяйственных культур. Выявлен целый ряд закономерностей влияния меди на урожай.

Наука, как известно, не стоит на месте. Не только каждый год и каждый месяц, но даже каждый день вносит свой весомый вклад в важное общенародное дело — повышение урожайности сельскохозяйственных культур. В вопросе изучения обеспеченности различных почв усвояемыми формами соединений меди как важнейшего фактора урожайности сделано очень много. Академик Я. В. Пейве, например, применительно к почвам Латвийской ССР, предложил группировки почв по обеспеченности медью, представленные в таблице 6.

Таблица 6

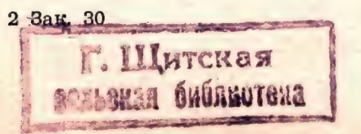
Уровни обеспеченности различных почв медью, усвояемой растениями

Название почвы	Обеспеченность почвы медью, мг/кг сухой почвы			
	высокая	средняя	низкая	очень низкая
Дерново-подзолистые	4—5	2,5—3,5	1,0—2,5	0,5—1,0
Торфянистые	>5	3,0—5,0	1,0—3,0	<1,0

Подобные группировки содержания меди в почвах разрабатываются сейчас для основных почвенных зон нашей страны.

Ученые составили карту общего содержания меди в почвах европейской части СССР. Здесь наблюдается общая тенденция увеличения концентрации меди с 6,0 мг/кг на северо-западе до 60—80 мг/кг почвы на юго-востоке. Специфичность действия меди, которая не может быть заменена (как мы уже отмечали) другими элементами, доказана целым рядом исследователей на многочисленном экспериментальном материале.

На торфяных почвах растения всегда испытывают недостаток меди. Однако и среди торфяно-болотистых почв встречаются почвы как с высоким, так и с низким содержанием меди. Большое количество меди встречается главным образом в заиленных торфах.



Верховые известковые, а также низменные и близкие к ним переходные торфяные почвы, имеющие нормальную или пониженную зольность, содержат очень мало меди. С помощью спектрального метода анализа, позволяющего определить в почвах медь в количествах менее 0,001%, физико-химической лабораторией Академии наук СССР было установлено, что общее содержание меди в различных торфяных почвах колеблется от $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ до $5{,}9 \cdot 10^{-3}$%. Опираясь на эти данные, несложными расчетами было определено, что в пахотном слое верхового торфа количество меди составляет около 2 кг/га, а низинного — 11 кг/га. Известно, что сельскохозяйственными культурами с 1 га почвы выносится в среднем 30—60 г меди. Ясно, что общий запас меди в торфяных почвах не так уж мал. Так почему же наибольший эффект от применения медных удобрений достигается именно на этих почвах?

Растения используют из почвы только подвижные, растворимые в воде соединения меди. К сожалению, наличие хорошо усвояемых форм меди в почвах невелико и колеблется от 1,1 до 7,8 на 1 кг почвы (табл. 7).

Таблица 7

Содержание растворимых форм меди в почвах (по данным М. В. Каталымова)

Название почвы	Содержание растворимых соединений меди, мг/кг сухой почвы
Дерново-подзолистые	1,1—5,4
Черноземы	4,1—6,5
Серые лесные	6,6—7,8

Дерново-подзолистые почвы бедны подвижными соединениями меди. Черноземы по наличию хорошо усвояемых форм меди приближаются к дерново-подзолистым, больше всего таких соединений в серых лесных почвах.

Цинк. Знакомство европейцев с цинком относится к концу средних веков. В Китае этот металл был известен значительно раньше. Производство цинка как промышленного металла в Европе началось в XVIII в. Практическое применение цинка значительно расширилось в XIX в., после того как в 1805 г. была открыта способ-

ность этого металла прокатываться в горячем состоянии. В 1832 г. из цинка начали изготовлять отливки, а в последующие годы этим металлом стали пользоваться для самых разнообразных целей.

Цинк относительно широко распространен в природе. Он встречается в почве, горных породах, в воде рек, морей и океанов, во всех растительных и животных организмах. В золе некоторых ракушек исследователями было найдено до 12% цинка. Среднее содержание цинка по массе в земной коре оценивается приблизительно в 0,02%. Основные породы, где был найден цинк,— это рудообразующие минералы, среди которых прежде всего надо отметить цинковую обманку (сфалерит) ZnS и цинковый шпат (смитсонит) $ZnCO_3$, а также цинкит (красную цинковую руду) ZnO и гидроцинкит $ZnCO_3 \cdot 2Zn(OH)_2$. Большинство цинковых минералов относится к полиметаллическим (содержащим несколько металлов) рудам: виллемит Zn_2SiO_4, франклинит $(Zn, Fe, Mn)O \cdot (Fe, Mn)_2O_3$, тростит $(Zn, Mn)SiO_4$ галмей или каламин $Zn_2SiO_4 \cdot H_2O$. Содержание цинка в этих рудах незначительное. Запасы минералов цинка чаще всего залегают со свинцовыми и серебряными рудами. Залежи подобных полиметаллических руд имеются в Казахстане, на Урале, Алтае, Северном Кавказе и в Сибири. Большие количества цинка сосредоточены в США и Южной Америке (Перу и Аргентине), Канаде, Австралии, Италии, Испании и других странах.

Исследователи в разное время проводили определения количества цинка в различных почвах нашей страны.

В 1944 г. биохимической лабораторией АН СССР были изучены главнейшие типы почв Советского Союза. В 1957 г. результаты этой работы обобщил академик А. П. Виноградов. Несколько позднее (в 1959 г.) видный советский почвовед В. А. Ковда опубликовал данные по содержанию цинка в почвообразующих породах[1] и почвах (табл. 8).

Далеко не одинаково содержание цинка находится в кладовых почвообразующих пород. В базальтах, например, наибольшее количество цинка; почти в 2 раза меньше этого металла в гранитах. Меньше всего цинка заключено в лессе.

---

[1] Породы, на которых образовались соответствующие почвы.

Таблица 8

Содержание цинка в почвообразующих породах и почвах (по данным В. А. Ковды)

Почвообразующие породы и почвы	Среднее содержание цинка, мг/кг сухой почвы
Почвообразующие породы:	
лесс	40
граниты	55
базальты	112
Почвы:	
дерново-подзолистые . . .	35
серые лесные	46
Черноземы	62

Содержание цинка в почвообразующих породах во многом определяет размещение этого элемента в различных почвенных зонах страны. Высокое накопление цинка в красноземах связано с почвообразующими породами, состоящими из базальтов и андезитов. Богатство черноземных почв гумусом определяет высокое содержание в них цинка. Большое количество цинка в почвах тундры связано с его наличием в почвообразующих породах. Заметно меньшее количество цинка в дерново-подзолистых, серых лесных и сероземных почвах. На взаимосвязь содержания цинка в почвообразующих породах и почвах страны указывают близкие средние значения имеющегося в них цинка (соответственно 60 и 50—56 мг/кг). При этом среднее содержание цинка в почвах всей нашей земли составляет 50 мг/кг.

На примерах бора, марганца, меди мы видели, что для растений важно не общее количество того или иного микроэлемента в почвах, а его подвижное содержание, хорошо усваиваемое растениями. Цинк в этом случае не является исключением. Не надо, однако, думать, что, чем больше общего цинка содержится в почве, тем большее количество его подвижной формы присутствует в ней. Прямой зависимости в этом нет. Что же тогда определяет содержание подвижного цинка в почвах? Проведенные исследования показали, что основным условием при этом является кислотность.

Увеличение кислотности почвы приводит к возрастанию подвижности цинка, и, наоборот, уменьшение pH до

6,0—6,5 — резкому ослаблению. При pH более 7,0 подвижность цинка опять возрастает, так как образуются цинкаты-соединения Na_2ZnO_2, в которые цинк входит в состав аниона ZnO_2^{-2}. Интересно, что при внесении в почву высоких доз фосфатов подвижность цинка резко уменьшается.

Исследования, проведенные академиком Я. В. Пейве в условиях нечерноземной полосы нашей страны, показали, что содержание подвижного цинка колеблется в среднем от 0,12 до 20 мг на 1 кг почвы. Наименьшее количество этого цинка находится в нейтральных почвах, наоборот, кислые дерново-подзолистые и торфяные характеризуются повышенным содержанием подвижного цинка, причем его содержание возрастает с уменьшением pH.

Применительно к почвенным зонам Латвийской ССР Я. В. Пейве нашел, что содержание общего цинка варьирует от 21,7 до 43,7 мг на 1 кг почвы, а подвижного — еще в более широких пределах — от 0,5 до 26 мг на 1 кг почвы.

Наиболее бедны подвижным обменным цинком дерново-карбонатные почвы (0,5 мг на 1 кг сухой почвы). На основе этих полученных экспериментальных данных академик Я. В. Пейве разделил все почвы Латвийской республики по содержанию в них цинка на пять групп.

Многочисленные исследования, проведенные в нашей стране, показывают, что в различных почвах содержится неодинаковое количество цинка. Больше всего хорошо усвояемого цинка находится в дерново-подзолистой, серой лесной, а также в некоторых других почвах нечерноземной зоны. Среднее количество подвижного цинка в них колеблется в пределах 0,12—20,0 мг/кг сухой почвы.

Значительно меньше обменного цинка, чем в дерново-подзолистых и лесных почвах, содержится в черноземах, сероземах, бурых и каштановых почвах. В черноземах, например, находится 0,1—0,25 мг/кг обменного цинка. Эти почвы по количеству обменного цинка, пожалуй, значительно ближе стоят к дерново-карбонатным.

В сероземах Средней Азии содержание подвижного цинка составляет 0,9—0,12 мг/кг. В бурых почвах — 0,03—0,2 мг/кг, а в каштановых подвижного цинка несколько больше — 0,06—0,14 мг/кг.

Если рассматривать содержание цинка по горизонтам отдельных почв, то наиболее богатыми по содержанию обменного цинка окажутся верхние перегнойные слои. С глубиной количество обменного цинка уменьшается.

М о л и б д е н. Шведский ученый Карл Шееле в 1778 г. впервые получил молибденовую кислоту. Для этого он воздействовал азотной кислотой на молибденовый блеск. В осадке им был получен белый остаток, обладающий кислотными свойствами. Это и была молибденовая кислота. В это же время К. Шееле сделал правильный вывод о том, что сам минерал, из которого он получил молибденовую кислоту, является не чем иным, как сульфидом нового элемента.

Сульфид молибдена в дальнейшем стал основной сырьевой рудой для получения металлического молибдена.

Молибден, хотя и относится к числу широко распространенных элементов (с содержанием в земной коре $\sim 10^{-3}\%$), однако он сильно рассеян и поэтому считается редким элементом. Молибден в небольших количествах (это является его отличительной особенностью) встречается в природе повсюду: в различных породах и почвах, водах рек, морей и океанов, растительных и животных организмах. Поэтому его обнаруживают в золе древесных и многих других растений. Особенно богаты молибденом клубеньки бобовых растений. В них заключено больше молибдена, чем в почвах, надземных органах и семенах растений.

Этот элемент встречается в виде природного соединения молибденита (сульфида молибдена, или, как его еще называют, молибденового блеска) MoS_2, напоминающего по внешнему виду графит. Надо сказать, что молибден из-за блестящего вида вначале принимали за графит. Концентрация молибдена, найденного в природных соединениях, обычно не превышает 1—2%.

Кроме молибденового блеска, одинаковую с ним распространенность имеют молибдит $Fe_2O_3 \cdot 3MoO_3 \cdot 7{,}5 \cdot H_2O$ и вульфенит $PbMoO_4$, в меньшей степени — повеллит $CaMoO_4$. Всего в природе известно около 20 молибденовых минералов.

В нашей стране имеются природные месторождения молибдена. Встречается молибден и в виде сульфидных руд, являющихся хорошим источником получения молиб-

дена. Наибольшее количество молибдена встречается в кислых породах, в основных изверженных породах его меньше. Необходимо отметить, что высокое содержание молибдена обнаружено в почвах, прилегающих к молибденовым месторождениям. Общее среднее количество молибдена в почвах страны составляет, по данным академика А. П. Виноградова, 2,6 мг/кг. Содержание молибдена в различных почвах неодинаково, что хорошо видно из данных таблицы 9.

Таблица 9

Содержание молибдена в почвах СССР (по данным В. А. Ковды)

Название почвы	Содержание молибдена, мг/кг сухой почвы
Черноземы	0,7—8,6
Серые лесные	1,7—4,0
Подзолистые	1,0—4,0
Сероземы	0,7—2,0
Каштановые	0,2—2,0

Наибольшее количество молибдена содержится в черноземах. Примерно вдвое ниже молибдена встречается в серых лесных, подзолистых и красноземных почвах. Наименьшее содержание молибдена наблюдается в каштановых почвах и сероземах.

Надо иметь в виду, что молибден характеризуется сильно выраженной биологической аккумуляцией. Поэтому окультуренные почвы содержат больше этого элемента. Количество молибдена в почвах зависит и от ее механического состава. Больше молибдена сосредоточено в почвах тяжелых — глинистых и суглинистых, а наиболее бедны этим элементом почвы легкие — песчаные и супесчаные. Подвижность молибдена далеко не одинакова не только для различных почв страны, но и для одного и того же типа почв (табл. 10).

В целом содержание подвижного молибдена в почвах невелико. Но в почвах одного и того же типа количество молибдена изменяется весьма существенно. Например, дерново-подзолистые почвы по количеству подвижного молибдена могут отличаться между собой в 24 раза, а черноземные — почти в 17 раз. Подвижность молибдена в почвах и его хорошая усвояемость растениями зависит прежде всего от реакции среды. Щелочная реакция бла-

Таблица 10

Содержание подвижного молибдена в почвах СССР (по данным акад. Я. В. Пейве)

Название почвы	Содержание молибдена, мг/кг сухой почвы
Дерново-подзолистые	0,04—0,97
Черноземы	0,02—0,33
Каштановые	0,09—0,62
Сероземы	0,03—0,15

гоприятно действует на подвижность молибдена. Наоборот, в кислой среде содержатся менее доступные для растений соединения молибдена.

Поэтому даже при достаточном общем содержании молибдена в почве многие растения часто не могут извлечь из нее то небольшое количество этого элемента, которое необходимо для их роста и развития. Например, нормальный рост клевера наблюдался при pH 6,9—7,9 без дополнительного введения в почву молибдена. При более высокой кислотности на той же почве для получения большого урожая клевера приходилось применять молибденовые удобрения.

Гидроксиды железа и алюминия, фосфаты и коллоиды почв также способны поглощать MoO_4^{2-} и переводить его в менее усвояемую форму.

На кислых почвах потребность растений в молибдене начинает проявляться при pH ниже 5,2. В целях увеличения количества подвижного молибдена в почву обычно вносят известь. Это мероприятие почти полностью устраняет необходимость добавлять молибденовые удобрения. Фосфорные удобрения способствуют увеличению подвижности молибдена в почве. Но если количество марганца в кислых почвах увеличивается, то это в свою очередь способствует переходу молибдена в труднодоступное для растений состояние.

При употреблении минеральных удобрений надо иметь в виду, что применение кислых форм удобрений увеличивает кислотность почвы, ограничивает подвижность молибдена и делает его малодоступным для усвоения растениями.

Таким образом, знание кислотности почвы при применении молибденовых удобрений крайне необходимо.

К о б а л ь т. Впервые кобальт был получен алхимиком Брандтом в 1735 г. В средние века не могли полностью отделить соединения серебра от кобальта, который загрязнял серебро, или, как тогда говорили, портил этот благородный металл. Не зная действительной причины загрязнения серебра, это объясняли наличием в нем сверхъестественного существа — кобольда. Отсюда и пошло название этих руд, а затем и самого металла кобальта.

Кобальт относится к числу малораспространенных в природе металлов, но его не считают редким элементом. Содержание кобальта в земной коре составляет $1{,}1—4 \cdot 10^{-3}\%$, причем 9% от общего количества этого элемента в земной коре находится в рассеянном состоянии. Наиболее высокие концентрации кобальта ($3{,}2—10^{-2}\%$) обнаружены в основных силикатных породах, наиболее низкие ($4{,}0 \cdot 10^{-4}\%$) — в кислых породах (гранитах, гранодиоритах); содержание кобальта в основных ($2{,}4 \cdot 10^{-3}\%$) и средних ($1 \cdot 10^{-3}\%$) породах занимает промежуточное положение.

Кобальт можно найти во всех осадочных образованиях суши и моря, где его средняя концентрация составляет $1{,}0 \cdot 10^{-3}\%$. Высокие концентрации кобальта в различных породах еще не указывают на то, что именно в них можно найти наибольшее количество этого металла. Дело в том, что запасы кобальта определяются количественным соотношением наиболее распространенных горных пород. В настоящее время подсчитано, что к кислым породам относятся 60% всех пород, к основным — 30,75%, к осадочным — 5%, к средним — 4% и ультраосновным — 0,25%. Свыше 70% кобальта находится в основных породах.

Самородки кобальта в природе чрезвычайно редки. Распространен этот элемент главным образом в виде химических соединений — минералов, как самостоятельных, так и входящих в состав других минералов. К последним относятся сульфидные минералы никеля и железа: петландит (FeNi)S, никелистый пирротин (FeS) и халькопирит ($CuFeS_2$), в которых содержание кобальта не превышает 0,3%. Как самостоятельный минерал кобальт встречается в арсенидах ($CoAs_2$ — смальтин, $CoAs_3$ — скуте-

рудит и др.), сульфидах (Co_3S_4 — линнеит, CoS_2 — кобальт-пирит и др.), а также в виде кобальтового блеска CoAsS, кобальтового цвета $Co_3 \cdot (AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$ и др.[1] Перечисленные минералы часто встречаются с рудами серебра и по цвету мало чем отличаются друг от друга.

Содержание кобальта в почвах зависит в основном от его количества в почвообразующих породах (табл. 11).

Таблица 11

Содержание кобальта в почвообразующих породах (по данным В. А. Ковды)

Почвообразующие породы	Содержание кобальта, мг/кг сухой породы
Базальты	21,6
Глины	14,0
Покровные суглинки	11,8
Пески и супеси	4,2

Больше всего кобальта содержится в базальтах, меньше — в глинах и покровных суглинках. Пески и супеси наиболее бедны кобальтом (табл. 11).

Таблица 12

Содержание кобальта в почвах (по данным В. А. Ковды)

Название почвы	Содержание кобальта, мг/кг сухой почвы
Каштановые	8,6
Черноземные	6,1
Серые лесные	3,9
Дерново-подзолистые	3,1

Почвы, образовавшиеся на базальтах и глинах, гораздо богаче кобальтом по сравнению с почвами, возникшими на песках и супесях (табл. 12).

---

[1] Помимо горных пород, кобальт обнаружен в природных водах. Среднее содержание кобальта в морских, речных, а также в природных и поверхностных водах составляет $2{,}0 \cdot 10^{-7}\%$.

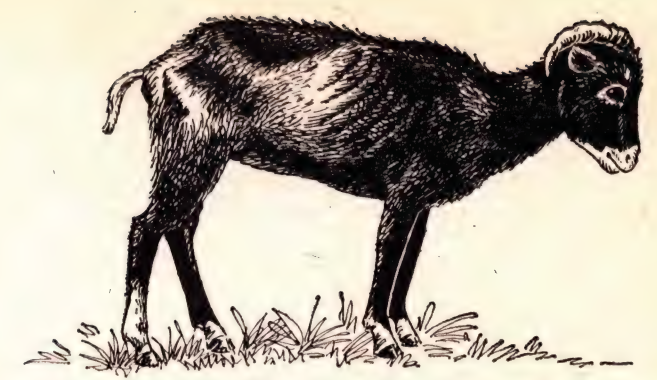


Рис. 1. Баран, больной акобальтозом (недостатком кобальта).

1

2

Рис. 2. Сухотка у рогатого скота *(1)*, вызванная недостатком кобальта, здоровый рогатый скот *(2)* после подкормки кобальтом.

Наиболее богаты кобальтом каштановые и черноземные почвы, а наиболее бедны им дерново-подзолистые.

Для сельского хозяйства несомненный интерес представляют прежде всего черноземные, каштановые и дерново-подзолистые почвы. Среднее содержание кобальта в них колеблется от 3,1 до 8,6 мг/кг сухой почвы. Если в почвах кобальта содержится меньше 1,7—2,5 мг/кг, то такие почвы непременно должны быть обогащены этим элементом. Недостаток кобальта в почвах приводит к получению неполноценных кормов.

Если сельскохозяйственным животным давать такие корма, они заболевают акобальтозом и сухоткой (рис. 1, 2). Поэтому большое значение имеет наличие в почве подвижного кобальта. Здесь мы имеем несколько иную картину по распределению в почвах подвижного кобальта по сравнению с общим содержанием в почве этого элемента (табл. 13).

Таблица 13

Содержание подвижного кобальта в почвах (по данным М. В. Каталымова)

Название почвы	Содержание кобальта, мг/кг сухой почвы
Дерново-подзолистые	4,7
Серая лесная	5,4
Чернозем мощный	4,9

Количество подвижного кобальта в почвах колеблется от 1,7 до 5,4 мг/кг. Наиболее богаты этим элементом серые лесные почвы.

РОЛЬ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ

До настоящего времени значение некоторых микроэлементов для растений остается невыясненным, хотя исследователи потратили много усилий и времени, чтобы приблизиться к истине. Для решения проблемы надо разобраться, что влияет на поступление и передвижение микроэлементов в растениях; как присутствие одних микроэлементов воздействует на поступление других в растения; необходимо понять, как связано накопление хлорофилла с наличием или отсутствием тех или иных микроэлементов; определить влияние микроэлементов на фотосинтез и белковый обмен, на процессы дыхания, развития и плодоношения растений. Многообразие вопросов, требующих своего разрешения, связано единой целью — поиском наиболее рациональных путей повышения урожайности сельскохозяйственных культур. В соответствии с этой главной задачей рассмотрим роль и значение отдельных микроэлементов для жизни растений.

БОР

Лишь 50 лет спустя после получения бора в свободном состоянии (1808 г.) его удалось обнаружить в растениях — семенах абиссинского measa picta. Это произошло в середине XIX в. Но лишь в начале XX столетия известный французский биохимик Габриэль Бертран высказал предположение, что наличие бора в составе растений не случайность. Обнаружение бора в растительных тканях свидетельствовало о его особой роли в растительном мире. Экспериментально было доказано (Н. Агюлон) повышение урожая растений при внесении малых доз бора



Рис. 3. Кормовые бобы, выращенные без бора *(1)* и с бором *(2)*.



Рис. 4. Влияние бора на формирование колоса ячменя:
1 — без бора; *2* — с бором.



Рис. 5. Влияние бора на развитие пшеницы:
1 — без бора; *2, 3,* 4 — с бором.

в питательную смесь. Отсутствие этого элемента давало обратный эффект. Исключение бора из питательной среды приводило к снижению урожая. Не обошлось и без курьезов. Некоторые исследователи в своих опытах использовали питательные растворы, недостаточно очищенные от содержания бора. Это приводило к неточным, а иногда и противоречивым результатам. Так одни экспериментаторы утверждали, что кукуруза страдает от недостатка бора, а другие говорили обратное — бор вовсе не нужен кукурузе. Благодаря исследованиям различных

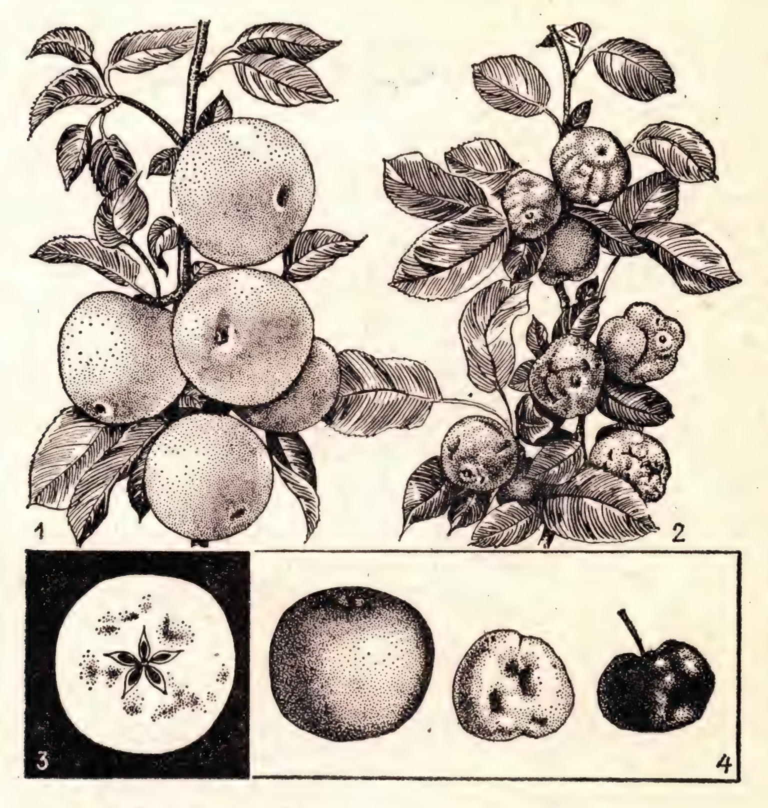


Рис. 6. Влияние бора на развитие плодов яблони:

1 — плоды, выращенные при наличии бора; *2* — плоды, выращенные при недостатке бора; *3* — опробкование яблока (поперечный разрез), вызванное борной недостаточностью; *4* — нормальное яблоко и два мелких деформированных яблока, выращенных в условиях борной недостаточности.

ученых в 20-х годах XX столетия стало общепризнанным влияние бора на развитие растений (рис. 3, 4).

В 30-х годах М. Я. Школьник, Е. А. Соловьева-Троицкая, С. Н. Дроздов, А. А. Кутузов и другие показали необходимость бора для нормального роста и развития злаков. Эти исследователи применяли питательные смеси, тщательно очищенные от соединений бора. Во всех проведенных ими опытах со злаковыми культурами замечено снижение урожайности. В отсутствие бора у злаковых культур усиливалось кущение, задерживалось выколашивание, наблюдалось скручивание листовых пластинок, задерживалось растяжение междоузлий, боковые корни появлялись очень поздно и сильно утолщались. Колос пшеницы, выращенный в условиях таких опытов, оказывался недоразвитым (рис. 5).

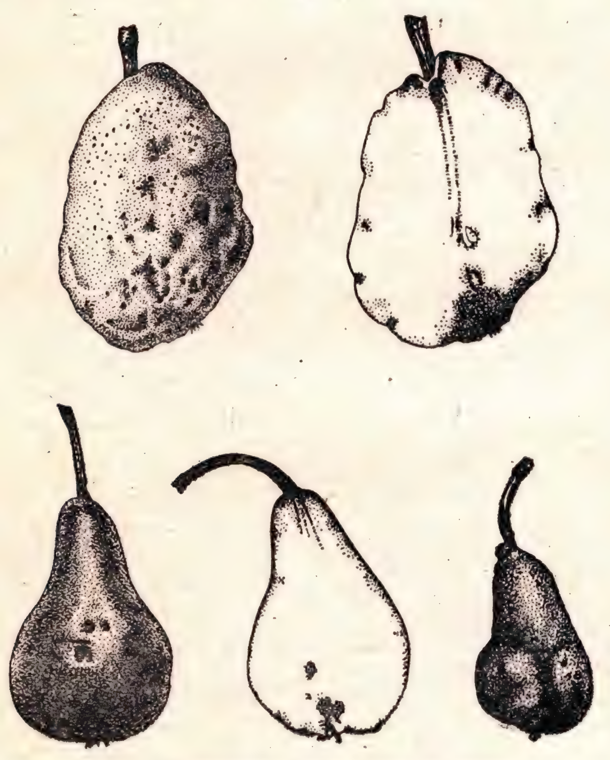


Рис. 7. Недостаток бора у плодов груши.

Сейчас общепризнано, что бор — неотъемлемая часть каждого растительного организма, в том числе двудольных и злаковых. Однако различным видам растений бор требуется в неодинаковых количествах, а явление борной недостаточности может проявляться по-разному. При недостатке бора снижается количество цветков, происходит опадение завязей и отмирание точек роста. Бор ускоряет прорастание пыльцы и усиливает ее жизнеспособность, влияет на развитие завязей и семяпочек, процессы созревания семян, плодов и ягод (рис. 6, 7). В любом случае, когда понижается урожай плодов или семян (при общем нормальном уровне растительной массы), надо обязательно проверить, не является ли это следствием борного голодания. Бор влияет на водный режим растений, способствуя увеличению содержания воды в клетках, а также на процессы углеводного и белкового обмена, протекающие в растении, например на отток сахаров в листьях. Присутствие бора способствует притоку сахаров к точкам роста растений, цветам, плодам и корням. Бор с сахарами образует борно-сахарные комплексы, которые передвигаются по тканям растений гораздо быстрее, чем чистый сахар. Важная особенность бора — усиливать стойкость растений к засухе и недостатку солей (рис. 8).

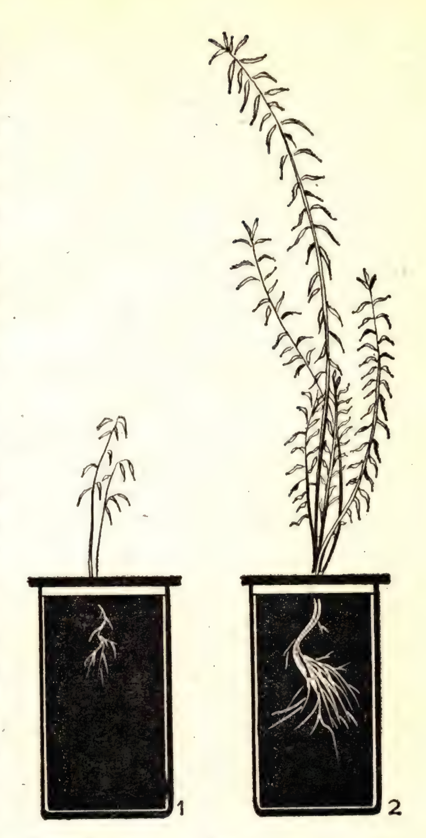


Рис. 8. Влияние бора на засухоустойчивость льна:

1 — растение, погибшее от высокой температуры при недостатке бора; *2* — растение из того же сосуда после дозировки бора и наступления похолодания.

При недостатке бора уменьшается скорость процесса фотосинтеза. Именно поэтому наибольшее количество этого элемента содержится в цветах, листьях и корнях растений и меньше всего в его стеблях. Например, в стеблях люпина и сурепки содержание бора (табл. 14) примерно в 2 раза меньше, чем в цветах, и в 1,3—1,5 раза меньше, чем в листьях; в корнях этих растений его меньше, чем в цветах (в 1,7 раза), но больше, чем в стеблях (почти в 1,3 раза).

Таблица 14

Содержание бора в различных органах растений (данные Е. В. Бобко и М.В. Каталымова)

Органы растений	Содержание бора, мг/кг сухого вещества	
	люпин	сурепка
Цветы	74	37,7
Листья	54	26,9
Корни	—[1]	22,6
Стебли	41	18,0

[1] Данные отсутствуют.

Бор влияет на развитие клубеньков корней бобовых растений. При недостатке в почве соединений бора бактероидная ткань бобовых растений практически не развивается. Нарушается симбиоз растений и клубеньковых бактерий, которые, не получая необходимого углеводного питания, начинают вести паразитический образ жизни, разрушая протоплазму клеток корня растения. В настоящее время ученые считают необходимым наличие бора для развития корневой системы не только бобовых, но и других культур (рис. 9).

Бор регулирует поступление в растения других элементов, например способствует калию, азоту и, наоборот, затрудняет усвоение фосфора.

Исторически сложилось так, что в течение длительного времени отмечалось только вредное влияние бора на растения. Дело в том, что при проведении опытов использовали в основном 1-процентный раствор борной кислоты. Такая концентрация считалась ничтожно малой. В дей-

ствительности же это приводило растение к гибели. Впоследствии начали применять более разбавленные растворы и стало отмечаться положительное действие бора на развитие растительных организмов. Однако идея о необходимости бора для нормального развития растений утвердилась не сразу. Первоначально бор был отнесен к группе стимуляторов, т. е. к элементам, оказывающим некоторое возбуждающее, но не решающее влияние на развитие растений. Произошло это потому, что в некоторых исследованиях была показана возможность выращивать растения и без соединений бора. С течением же

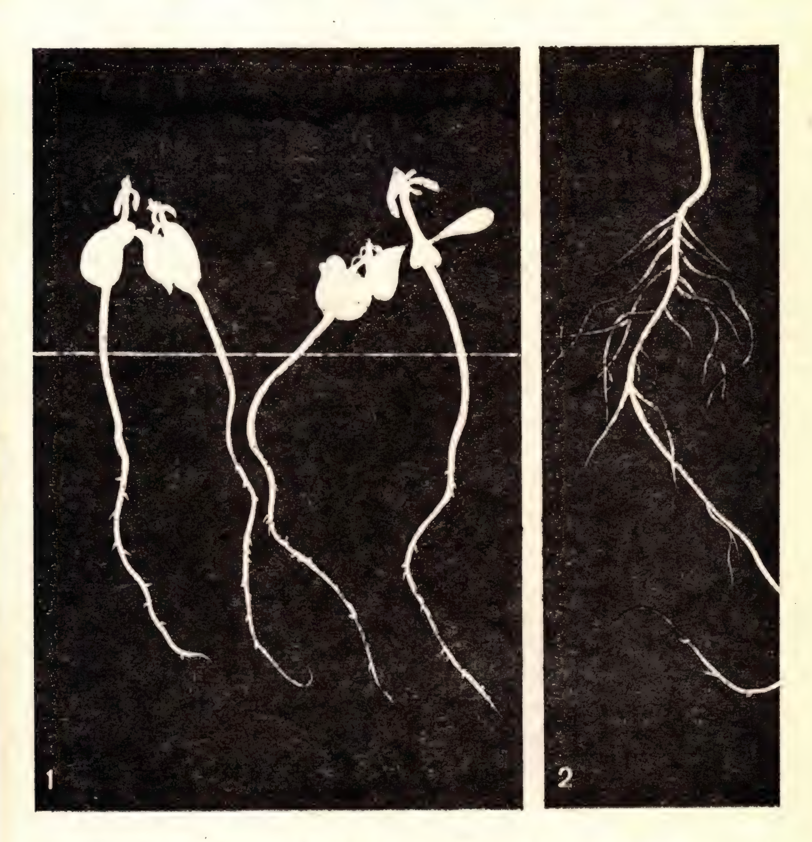


Рис. 9. Влияние бора на рост корневой системы льна:
1 — без бора; *2* — с бором.

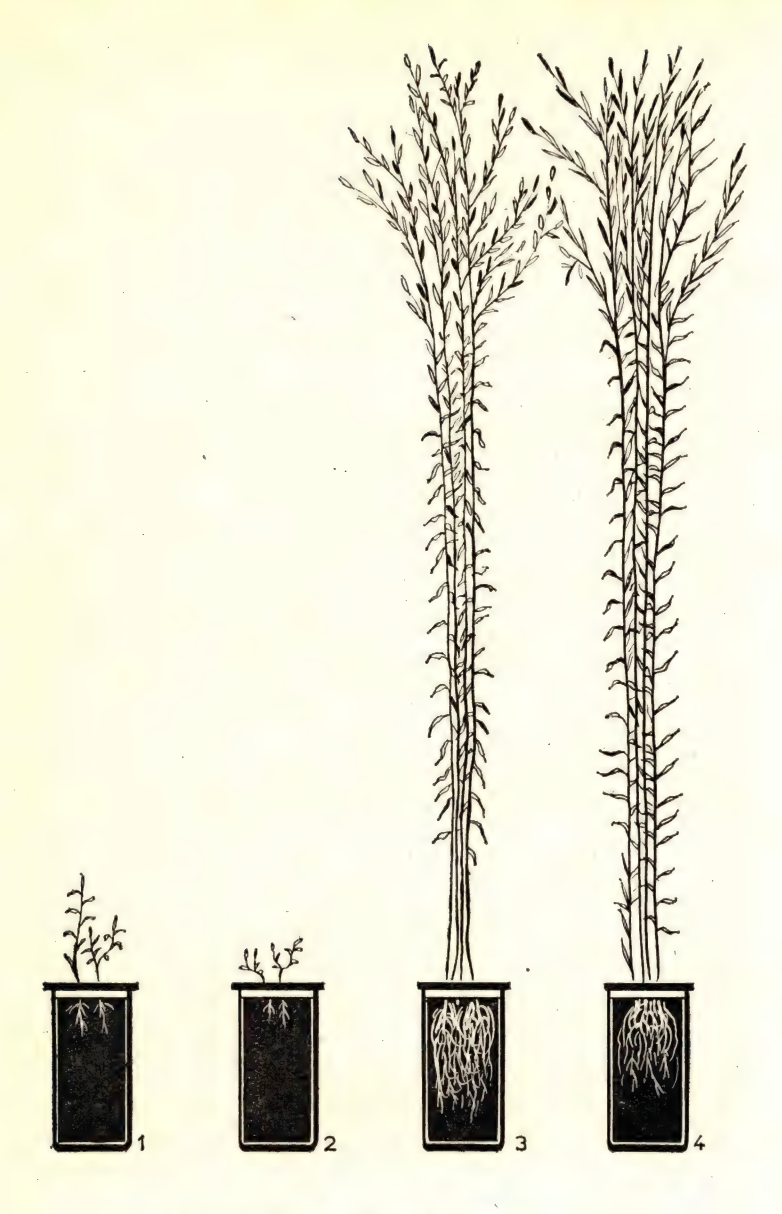


Рис. 10. Влияние бора на развитие льна:
1, 2 — без бора; *3, 4* — с бором.

времени было определено однозначно: в отсутствие бора растения нормально развиваться не могут. Это прежде всего относится к льну (рис. 10), кукурузе, клеверу, свекле (сахарной и кормовой), конопле, люцерне (рис. 11), хлопчатнику, гороху, табаку, подсолнечнику и др.

Содержание бора в различных растениях неодинаково и колеблется от 2 до 100 мг на 1 кг сухой массы. Больше всего бора в маке, сахарной свекле, салате, а меньше всего — в злаках (ячмень, рожь, пшеница и др.). Бобовые (соя, фасоль и др.) занимают среднее место между этими растениями. Если растения не получают указанного в таблице 15 количества бора, то наступает явление борной недостаточности (борное голодание). Это проявляется в уменьшении или отмирании вообще точек роста и задержке развития корневой системы растений. Одновременно происходит интенсивное развитие пазушных побегов, и растения приобретают кустообразную форму. Так проявляется борное голодание у льна, выращиваемого на почвах, бедных бором (на дерново-глеевых и сильно известкованных дерново-подзолистых почвах). Такое заболевание льна имеет специальное название — бактериоз и приводит к резкому уменьшению урожая и ухудшению качества волокна. У сахарной свеклы при недостатке бора наблюдается сухая гниль (рис. 12), у столовой свеклы появляется черная пятнистость (рис. 13), а виноград страдает межжилковым хлорозом листьев (рис. 14).



Рис. 11. Влияние бора на развитие люцерны:
1 — без бора; *2* — после внесения бора.

Таблица 15

Содержание бора в растениях (по данным Г. Бертрана, Л. Вааля и Л. Зильберштейна)

Название растения	Содержание бора, мг/кг сухого вещества	Название растения	Содержание бора, мг/кг сухого вещества
Ячмень	2,3	Горчица белая	21,9
Рожь	3,1	Морковь	25,0
Пшеница	3,3	Табак	25,0
Кукуруза	5,0	Клевер красный	36,2
Лен	7,1	Капуста	37,1
Картофель	14,5	Фасоль	43,0
Томаты	16,0	Репа	49,2
Горох	21,7	Редис	64,5
		Сахарная свекла	75,6
		Одуванчик	93,0
		Мак	94,7

Цветная капуста буреет, на листьях возникает хлороз, а в сердцевине образуется дупло. У брюквы и сурепки буреют сердцевины, а у подсолнечника верхушки стеблей засыхают.

Бор, по самым скромным подсчетам, необходим для нормального роста и развития более чем 100 видам растений. Однако роль этого элемента в обмене веществ,



Рис. 12. Заболевание сахарной свеклы сердцевидной гнилью: *1* — больное растение; *2* — здоровое растение.



Рис. 13. Черная пятнистость столовой свеклы:
1 — здоровое растение, получившее бор; *2* — больное растение, выращенное при недостатке бора.

протекающем в растительных клетках, до сих пор еще недостаточно известна. Вот уже более 60 лет ученые многих стран мира интенсивно работают над расшифровкой механизма физиологического действия этого элемента на развитие растений. Проблема оказалась далеко не простой. Если бы микроэлемент бор входил в состав ферментов — природных могущественных белковых катализаторов, то представлялось бы возможным установить влияние этого элемента бора на жизнедеятельность растений:



Рис. 14. Межжилковый хлороз листа у винограда при недостатке бора.

достаточно было бы проследить за действиями фермента. Однако бор в отличие от ряда других микроэлементов не только не входит в состав ферментов, но даже не влияет на их активность. Следовательно, он не обнаруживает в явной форме своего участия в сложных биохимических процессах.

Есть некоторые основания полагать, что бор участвует в регулировании жизнедеятельности, вступая в устойчивые комплексные соединения. Вспомним, что ионы некоторых металлов способны присоединять к себе другие ионы и даже нейтральные молекулы (например, NH_3), образуя комплексные ионы. Примером образования таких комплексных соединений служит реакция борной кислоты с водой:

$$H_3BO_3 + H_2O \rightleftarrows \left[\begin{array}{ccc} HO & & OH \\ & B & \\ HO & & OH \end{array} \right]^{-} + H^{+}$$

Все комплексные соединения бора имеют отрицательный заряд, изменяя как свойства исходных соединений, так и их химическую активность. Повышается растворимость комплексных соединений, у которых появляются новые качества. Они делают их более реакционноспособными, активными при взаимодействии с другими веществами.

Вступив в комплексные соединения, бор приобретает способность участвовать в регулировании скорости процессов, представляющих различные стороны белкового обмена. Эта гипотеза находит подтверждение. Можно временно уменьшить борную недостаточность и одновременно даже усилить рост растений, если применять комплексные соединения, не содержащие бора, но включающие стронций, алюминий и особенно германий. Однако гипотеза об участии бора в комплексных соединениях, к сожалению, не объяснила целого ряда других явлений и

фактов. Например, почему этот элемент в разной степени требуется однодольным и двудольным растениям и т. д. Наблюдаются большие колебания содержания этого элемента у разных видов растений (табл. 15). Причем для одних растений этот элемент просто крайне необходим, зато другие в нем не очень нуждаются.

Для объяснения различного участия бора в жизнедеятельности растений выдвигались различные гипотезы и предположения. Советский ученый М. Я. Школьник более 20 лет назад указал принципиальный подход к раскрытию загадок бора: изучение физиологии и биохимии растений, имеющих наименьшее и наибольшее содержание этого элемента. Такой метод сопоставления для однодольных и двудольных растений позволил установить истинное место бора в физиологии растительного мира.

Если лишить однодольные растения (пшеницу, ячмень, рожь, кукурузу) возможности получать бор, то в этих условиях злаки не погибнут и даже не обнаружат отмирания точек роста. Злаки способны даже закончить полный цикл своего развития от посадки семян в почву до получения нового урожая. Следовательно, злаки — именно те растения, которые не очень нуждаются в микроэлементе боре. Такая особенность развития злаков очень важна и учитывается в практике сельскохозяйственного производства.

Совсем другое влияние оказывает бор на двудольные: недостаток его приводит к отмиранию точек роста и гибели самого растения. В отсутствие бора двудольные обнаруживают полную невозможность роста корня с первых же дней их развития. Растения погибают сразу же после развертывания семядолей и появления одной или двух пар листочков.

Долгое и кропотливое изучение действия нехватки бора на однодольные и двудольные растения позволило выяснить, что разгадка кроется в различных способах окисления сахаров, содержащихся в растениях: бор является регулятором выбора пути окисления. При недостатке бора окисление сахаров доводят до образования высокомолекулярных соединений фенолов, которые и оказывают губительное действие на растения. Если же бор имеется в достаточном количестве, то он препятствует появлению высокомолекулярных фенолов. Окисление сахаров идет по другому направлению, не приводящему

к образованию фенольных соединений. У двудольных растений нехватка бора приводит к образованию не только высокомолекулярных, но и низкомолекулярных фенольных соединений. Как низкомолекулярные, так и высокомолекулярные фенолы накапливаются в растениях. Это ведет к нарушениям обмена веществ (в том числе белкового обмена) и как результат к прекращению деления клеток. На глубокой стадии борного голодания растения из-за накопления фенолов приобретают бурую окраску. Фенолы, проникая в цитоплазму клеток, окисляются и образуют соединения типа хинонов:

```
      O
      ‖
      C
 HC ╱   ╲ CH
   ‖     ‖
 HC ╲   ╱ CH
      C
      ‖
      O
```

которые отравляют растения и вызывают отмирание точек его роста.

У однодольных растений ничего подобного не наблюдается, у них недостаток бора не приводит к накоплению фенолов. Итак, проблема бора оказалась тесно связанной с образованием и переработкой растениями углеводов, и в частности сахара.

Чтобы разобраться в биохимических явлениях, происходящих в растительных организмах с участием бора, ученые обратились к извечному источнику пищи на земле — к зеленому листу.

Бор неравномерно распределяется по растению. Больше всего он отлагается в листьях, меньше — в корнях и совсем мало — в стеблях растений. В самих же листьях бор содержится больше всего в местах, отдаленных от водопроводящей ткани (рис. 15). На конце листа (паринхеме — листовой пластинке) этого элемента содержится больше, чем у основания — проводящей системе черешка. Полагают, что бор, поглощенный корнями растений, передвигается в виде неорганических соединений. В листьях же он вступает во взаимодействие с органическими веществами и образует ряд комплексных соединений. Например, реагируя со спиртами, борная кислота

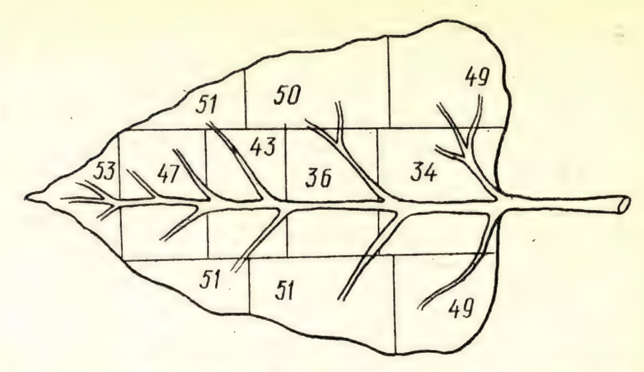


Рис. 15. Содержание бора в различных частях листа сахарной свеклы, мг/кг сухого вещества.

дает сложные эфиры: борметиловый эфир $B(OCH_3)_3$, борэтиловый эфир $B(OC_2H_5)_3$, а с углеводами (в частности, с сахарами) — сложные комплексные соединения.

Если в первоначальной фазе роста растения исключить бор из рациона питания (или подавать его в недостаточном количестве), то наблюдается накопление сахара в корнях, стеблях и листьях. В более поздние периоды развития наблюдается снижение общей суммы сахаров у растений. Это можно, по-видимому, объяснить увеличением расходования сахара на ростовые процессы, а следовательно, и на формирование структурных элементов клеток.

Если вводить такие количества бора и сахара в растения, при которых они не испытывают недостатка в этих веществах (чтобы нельзя было сказать, что недостаточное количество бора влияет на скопление сахаров в растении), то избыточное или нормальное содержание сахаров начинает уменьшаться. Причем, чем больше концентрация вводимого борного соединения, тем меньше сахара будет в растениях и его листьях. Здесь уже не рост растения снижает расход сахаров, а только непосредственное введение элемента бора способствует оттоку сахаров. Правда, не исключено, что бор лишь усиливает этот процесс, но не оказывает непосредственного влияния на передвижение углеводов.

Если бор влияет на углеводный обмен растений, то невольно возникает вопрос: а как сказывается это влияние на растения в условиях света и темноты? Обратимся

опять к результатам исследований. Оказалось, что на свету растения, не получающие бора, накапливают большое количество моносахаров (типа глюкозы и фруктозы). Если же растению на свету дать избыток бора, то наблюдается накопление сахарозы $C_{12}H_{22}O_{11}$ и глюкозы $C_6H_{12}O_6$. Таким образом, на свету при недостатке или избытке бора в растениях скапливается повышенное содержание сахаров различного типа. Для сравнения необходимо, видимо, упомянуть о том, что на свету растения с нормальным количеством бора обнаруживают лишь следы моносахаров.

В условиях темноты картина становится совершенно иной. В темноте все растения (независимо от получения различных доз бора: нормальных, повышенных и пониженных) имеют незначительное содержание моносахаров. В этом случае бор влияет только на превращение отдельных форм сахаров. Например, растения, получающие нормальные дозы бора, накапливают небольшое количество сахарозы. Если мы попытаемся определить содержание глюкозы и фруктозы в них, то в лучшем случае найдем исчезающе малые количества, так называемые следы этих углеводов. Для растений, получивших пониженное или повышенное содержание бора, наоборот, обнаружим незначительное количество глюкозы и фруктозы и только следы сахарозы. Эти общие выводы можно проиллюстрировать таким примером. В листьях сахарной свеклы, содержащей нормальные дозы бора, обнаружена в основном сахароза, а фруктозы найдено только $\sim 20\%$. Для сахарной свеклы, не получившей борного питания, количество фруктозы возрастет до $\sim 30\%$, а вместо сахарозы обнаруживаются гексозы $C_6H_{12}O_6$.

То, что растения, как и все живые организмы, днем и ночью непрерывно дышат, общеизвестно. Некоторые микроэлементы, в том числе и бор, способствуют этому процессу. Влияние бора подтверждает несложный эксперимент. Сахарную свеклу высаживали в две аналогичные питательные смеси, в одной из которых отсутствовали соединения бора. Оказалось, что кислорода больше поглощается сахарной свеклой, выращенной на питательной смеси, не содержащей бора. Одновременно с этим наблюдалось и повышенное выделение углекислого газа. Сахарная свекла, выращенная на питательной сме-

си, содержащей бор, примерно на 10% меньше поглощала кислорода и в среднем на 5% меньше выделяла углекислого газа. Однако для решения вопроса о более рациональном (без нарушений) дыхательном обмене надо учитывать не только абсолютные значения количеств выделяемого углекислого газа и поглощаемого кислорода, но главным образом их отношение, так называемый коэффициент дыхания. Для питательной смеси, не содержащей бора, на 100 г сухого вещества (сахарной свеклы) в час выделяется 8,8 мл CO_2 и поглощается 9,4 мл кислорода (отношение 8,8 : 9,4 = 0,935). Для питательной смеси, содержащей бор, эти числовые значения соответственно составляют 8,4 и 8,4 мл (отношение составляет 1,0).

Повышенная интенсивность дыхания при низком коэффициенте дыхания свидетельствует о нарушении дыхательного обмена, вызванного недостатком бора в растении. Если же нарушается дыхательный обмен, то происходит неправильное расходование органических веществ, так как процесс дыхания и есть разрушение и расходование органических веществ. Следовательно, получается диспропорция между накоплением органических веществ и их расходованием, т. е. нарушается обмен веществ и соответственно связь между фотосинтезом и дыханием растений.

МАРГАНЕЦ

В 1788 г. в золе дикого тмина было обнаружено присутствие соединений марганца[1]. Затем оказалось, что марганец в больших или меньших количествах содержится практически во всех растениях (в основном в цитоплазме клеток). Недостаток марганца в почве вызывает у большинства растений бурую пятнистость, похожую на молибденовое голодание, но с более вытянутой формой. Марганцовое голодание при недостатке этого элемента отмечено у многих культур (рис. 16, 17, 18, 19): листья бобовых становятся светло-зелеными или желтыми; у томатов те же признаки, что и у бобовых, однако прожилки на листьях остаются зелеными; листья столовой свеклы приобретают окраску темно-красную с фиолетовым оттенком; плети огурцов, заболевшие мар-

[1] В свободном состоянии марганец был выделен Чаном 200 лет назад.

ганцовой недостаточностью, становятся тонкими и слабыми, а листья — желтовато-белыми.



Рис. 16. Развитие кукурузы: *1* — без марганца; *2* — с марганцем.

При явно выраженной марганцовой недостаточности обнаруживают признаки заболевания плодово-ягодные культуры: яблоня, груша, черешня, вишня, слива, малина, персики, абрикосы и др. (рис. 20). Наибольшую устойчивость из ягодных культур к недостатку марганца проявляют земляника, черная и красная смородина, крыжовник. На плодовых деревьях из-за марганцового голодания появляется меньше листьев, и опадают они раньше обычного. При сильном марганцовом голодании у плодовых деревьев наряду с хлорозом листьев происходит засыхание и отмирание верхушек веток.

Болезненно сказывается недостаток марганца на таких культурах, как табак, хлопчатник, картофель. В жаркую и сухую погоду признаки марганцовой недостаточности усиливаются. При увлажнении же почвы после дождей или полива количество подвижного в ней марганца, хорошо усвояемого растениями, резко увеличивается. Дефицит этого микроэлемента у растений исчезает. Признаки болезни, связанной с этим дефицитом, резко ослабевают, а у молодых растений пропадают совсем. Корни растений, проникая в глубокие слои почвы, получают достаточное количество марганца в виде растворимых подвижных форм соединений. Избыток марганца в растениях вреден так же, как и его недостаток. Повышенное содержание соединений марган-

ца в дерново-подзолистых почвах приводит к токсическому действию на растения и даже к их гибели. Наиболее чувствительны к избытку этого элемента в почве свекла (сахарная и кормовая), люцерна, клевер. Содержание марганца в растениях колеблется от тысячных до сотых долей процента на 1 кг сухого вещества. В некоторых водных растениях, грибах, лишайниках количество марганца бывает до 1%. Неодинаково содержание марганца и в отдельных органах растений. Наибольшее его количество сосредоточено в зародышах и оболочках семян, в плодах и зеленых листьях. Наличие марганца

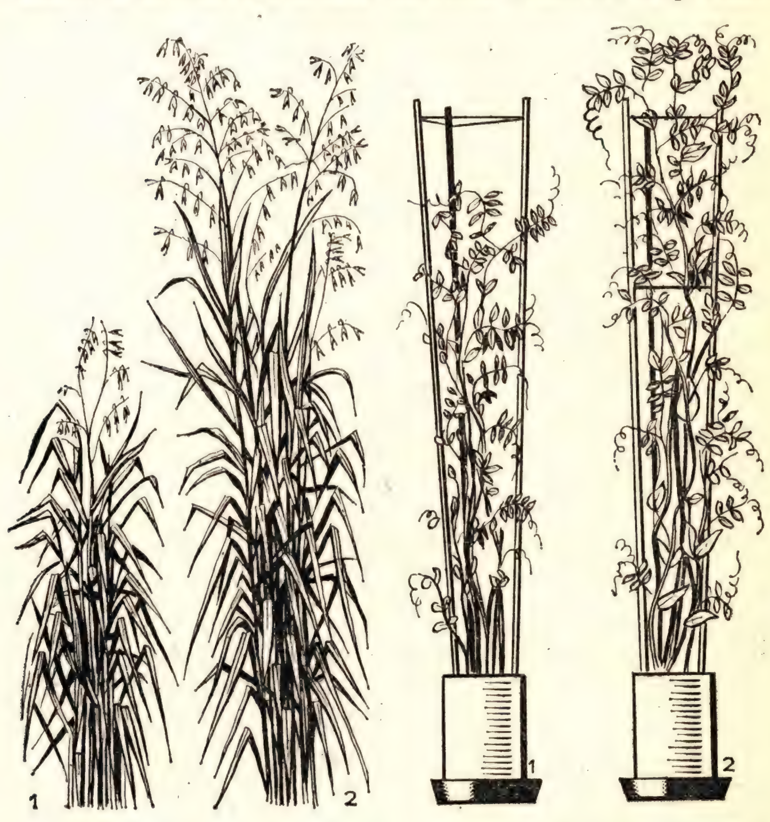


Рис. 17. Влияние марганца на развитие овса:

1 — без марганца; *2* — с марганцем.

Рис. 18. Развитие гороха:

1 — без марганца; *2* — с марганцем.



Рис. 19. Влияние оксида марганца на рост бобов (конских):
1 — без марганца (контроль); *2* — после внесения марганца.

в растениях зависит в основном от двух факторов: от биологической особенности самих растений и от количества марганца в почве. Так содержание марганца в различных растениях, выращенных на одном и том же черноземе, различается весьма существенно.

Те растения, которые наиболее богаты марганцем, выносят его и из почвы в наибольшем количестве. Кормовая свекла при урожае корней 280—350 ц/га собирает с 1 га до 600—700 г солей марганца. Естественно, что состав почвы оказывает существенное влияние на



Рис. 20. Недостаток марганца у сливы:
1 — сильный хлороз, опадение листьев при недостатке марганца; *2* — уменьшение хлороза при опрыскивании листьев солями марганца.

содержание элемента в растениях. На черноземе марганца накапливается в несколько раз меньше, чем в тех же растениях, выращенных на кислых и подзолистых почвах (табл. 16).

На дерново-подзолистой суглинной почве вынос марганца урожаем свеклы также намного больше по сравнению с черноземом и достигает 2—3 кг/га. Повышение кислотности почвы способствует увеличению содержания марганца, переходящего в активное состояние и соответственно в растения.

Таблица 16

Содержание марганца (мг/кг сухого вещества) в растениях, выращенных на различных почвах

Название растения	Чернозем	Дерново-подзолистый суглинок
Ячмень	30	40
Пшеница яровая	47	80
Овес	55	88,5
Кормовая свекла	70	94,3

Физиологическая роль марганца в жизни растений стала впервые предметом исследования в конце XIX столетия благодаря французскому биохимику Габриэлю Бертрану. Марганец, подобно бору, принадлежит к тем элементам, значение которых для физиологии растений становится все более значительным, по мере того как уточняется механизм их воздействия на растительные организмы. Он участвует в работе целого ряда природных белковых катализаторов—ферментов, регулирующих процессы фотосинтеза, дыхания и азотного обмена растений. Не найдено, однако, еще ни одной ферментной системы, специфичность и активность которой зависели бы всецело от микроэлемента марганца. Это обстоятельство создает трудности в выяснении картины физиологической роли марганца в жизнедеятельности растений. Тем не менее современные методы исследования позволяют надеяться на успех исследований в этом направлении.

Влияние марганца на процесс фотосинтеза, т. е. на воздушное питание растений путем ассимиляции CO_2 привлекало внимание ученых давно, еще в 20-х годах XX столетия. Удалось четко определить значение марганца для фотосинтеза растений, когда для экспериментов была выбрана хлорелла — низшее растение, обладающее замечательной особенностью — не подвергается заболеванию (хлорозу) при резком снижении в нем содержания марганца. Для некоторых культур хлореллы уменьшение содержания марганца снижало интенсивность фотосинтеза по сравнению с обычной до 5 раз. Однако нормальное течение процесса восстанавливалось

при добавлении необходимого количества марганца в питательную среду хлореллы.

Опыты по выяснению влияния марганца на фотосинтез низших растений позволили исследователям перейти к проверке этого явления для высших представителей растительного мира. В этом случае также удалось определить непосредственное влияние марганца на фотосинтез. Специальные опыты показали уменьшение количества хлорофилла в высших растениях (в том числе и в сахарной свекле), если из их рациона питания исключали соединения марганца. Хлорофилл в этих растениях легко восстанавливался при последующем нормальном марганцовом питании. Если 0,05-процентным раствором сульфата марганца осуществлять внекорневую подкормку сахарной свеклы, то в течение последующих четырех дней можно наблюдать, как листья этой культуры приобретают повышенную (на 12—32%) способность к поглощению углекислого газа. Происходит также усиленный отток продуктов фотосинтеза из листьев сахарной свеклы к корням.

Как микроэлемент марганец обладает еще одним замечательным свойством. Он усиливает связь хлорофилла с белковым комплексом хлоропластов, что в свою очередь повышает устойчивость хлорофилла против разрушения. Эта связь настолько прочна, что извлечь марганец из хлоропластов удается только с помощью высоких концентраций цианистого калия, который в свою очередь практически подавляет всю фотохимическую активность растения. Есть и другие микроэлементы (например, ванадий), повышающие процесс фотосинтеза, но марганец в большей степени влияет на процесс фотосинтеза и повышает его интенсивность. Он выполняет эту функцию не только при повышенной, но и при пониженной освещенности.

В настоящее время вполне определенно признано, что марганец способствует выделению кислорода и участвует в восстановительных реакциях фотосинтеза, а также в расщеплении молекулы воды. Для понимания роли и значения марганца в физиологии растений необходимо помнить, что этот элемент относится к переходным металлам. Для марганца возможны следующие состояния:

$$Mn^{+2} \rightleftarrows Mn^{+3} \rightleftarrows Mn^{+4} \rightleftarrows Mn^{+5} \rightleftarrows Mn^{+6} \rightleftarrows Mn^{+7}$$

Эти окислительно-восстановительные переходы характерны как для марганца, участвующего в процессах фотосинтеза растений, так и для марганца, поступающего из почвы в различные периоды вегетационного развития растений. Наиболее эффективными являются превращения марганца из степени окисления +2 в трех- и четырехокисленный. Возможны и обратные переходы — от более высокого валентного состояния до +2. Установлено, что, чем больше в растениях восстановительных веществ (дубильных и алкалоидов), тем больше накапливается марганца, который своим действием уравновешивает количество восстановителей в растениях.

Ионы марганца принимают активное участие в окислении продуктов карбоновых кислот, а следовательно, и в процессе дыхания растений. Окисление молекул карбоновых кислот связано с разрывом углерод-углеродной связи С—С и выделением CO_2, что характерно для дыхания растений:

$$CH_3-C\begin{matrix} \nearrow O \\ \searrow OH \end{matrix} + 2O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$$

Известно, что баланс кислорода в растениях определяется скоростью двух процессов: фотосинтеза и дыхания. При фотосинтезе кислород выделяется растением, а в процессе дыхания — он поглощается. В осуществлении обоих названных процессов принимают участие соединения марганца.

Имеется одна интересная особенность физиологической роли марганца: сохранение определенных соотношений железа и марганца в растении. Сам факт твердо установлен, но объяснить его пока не удается. Возможно, что при помощи марганца регулируется соотношение ионов железа.

Велико положительное влияние марганца на синтез и содержание сахаров в листьях, корнях и стеблях растений. Под действием соединений марганца из листьев хлопчатника, например, осуществляется отток сахаров, а в листьях пшеницы увеличивается содержание сахаров.

Марганец играет определенную роль и в азотном обмене растений. В зависимости от вида питания растений — аммиачного или нитратного — он может вести

себя соответственно как окислитель или как восстановитель. Кроме того, этот микроэлемент может уменьшать содержание растворимых форм азота в растениях и способствовать усилению синтеза белковых веществ. Таковы основные черты физиологической роли марганца в жизнедеятельности растений. Формы нахождения оксидов марганца в растениях еще не ясны. В последнее время было высказано мнение, что эти формы могут представлять собой комплексные соединения марганца и лимонной кислоты. Последняя, как известно, является трехосновной оксикислотой:

$$HOOCCH_2-\underset{\displaystyle OH}{\overset{\displaystyle COOH}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-CH_2COOH$$

В больших количествах эта кислота обнаружена в незрелых лимонах и принадлежит к самым распространенным кислотам, содержащимся в растениях.

МЕДЬ

160 лет назад было обнаружено, что в растениях присутствует медь. Через 115 лет после этого (в 1931 г.) приступили к систематическому изучению влияния меди на рост и развитие растений. Было установлено, что медь усиливает рост и улучшает развитие томатов, льна и подсолнечника. Оказалось, что такие зерновые культуры, как лен и ячмень, не могут нормально развиваться без ионов меди (рис. 21, 22). В том же 1931 г. выяснилось большое значение меди для плодовых культур, а в последующие два года обнаружилась возможность появления медного голодания для злаковых культур, возделанных в полевых условиях на торфяно-болотных почвах. Спустя несколько лет соли меди стали применять в растениеводстве (Г. И. Лашкевич, 1937 г.).

В настоящее время благодаря комплексу проведенных исследований установлено, что медь — элемент, абсолютно необходимый для жизни всех растений. Этот элемент не может быть заменен никакими другими.

Растения при отсутствии меди в питательной среде, исчерпав все запасы этого элемента, содержащиеся в

семени, погибают. Явления медной недостаточности у различных видов растений проявляются по-разному.

При нехватке меди у растений, выращенных на торфяных почвах, задерживаются (рис. 23) рост и развитие, снижается урожай и они могут даже погибнуть.

Болезнь растений при нехватке меди настолько широко известна и распространена, что имеет даже несколько названий: «белая чума», «болезнь верещатников», «болезнь обработки». Симптомы ее таковы: светло-зеленая окраска растений, напоминающая ту окраску, которая возникает при недостатке азота, хотя содер-

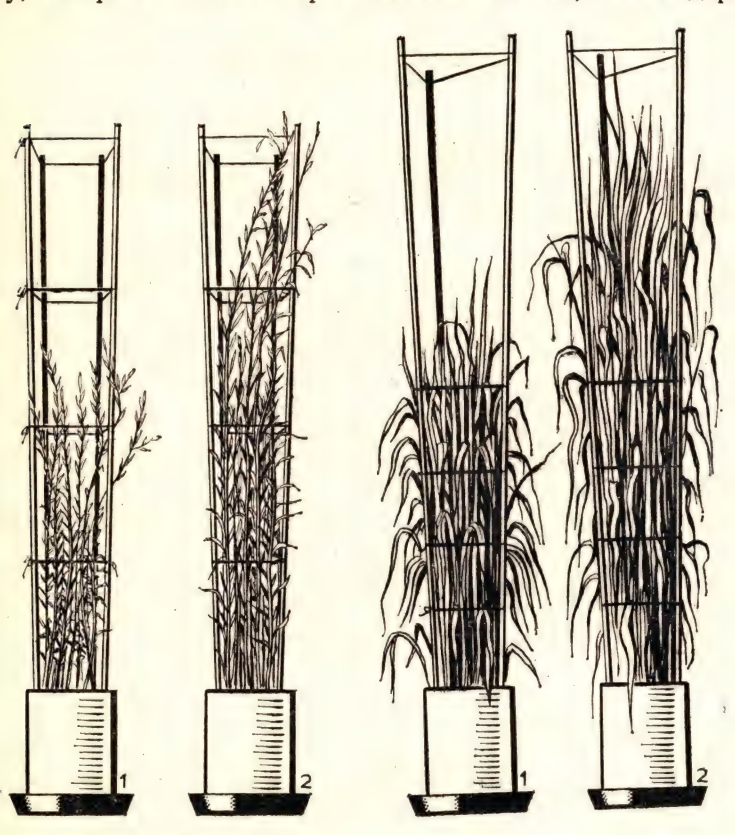


Рис. 21. Развитие льна:
1 — без меди; *2* — после внесения меди.

Рис. 22. Развитие ячменя:
1 — без меди; *2* — после внесения меди.

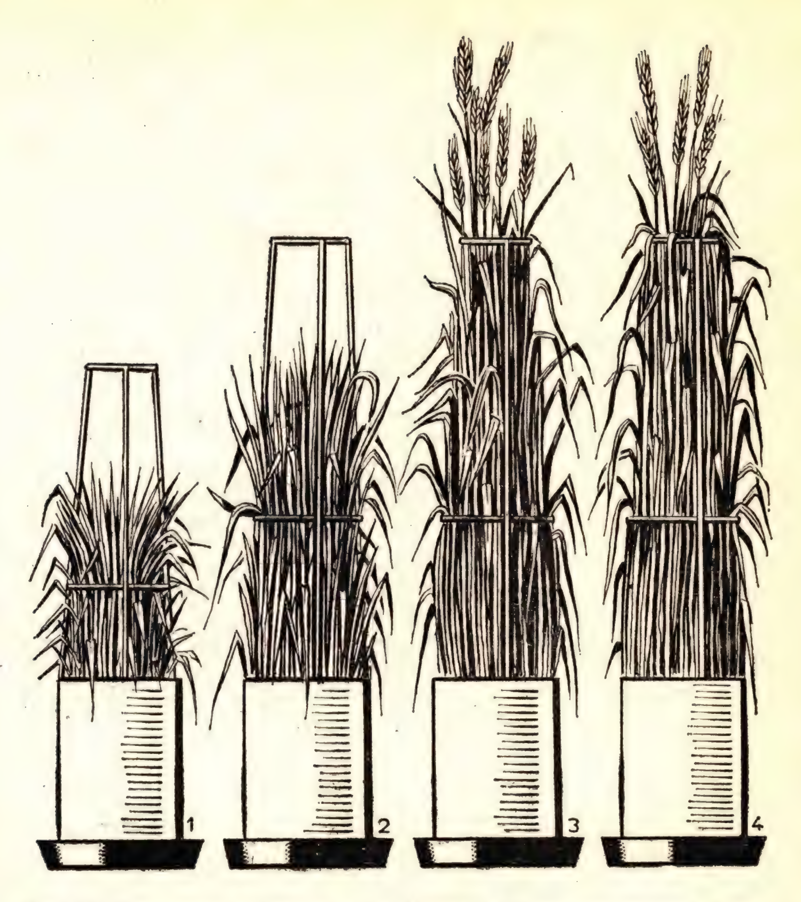


Рис. 23. Устранение «болезни обработки» на болотных почвах у яровой пшеницы от внесения меди:

1 — без азота, фосфора, калия и без меди; *2* — с азотом, фосфором, калием, но без меди; *3, 4* — с азотом, фосфором, калием и медью.

жание нитратов в почве нормальное; при сильном заболевании растения усиленно кустятся, но затем стебель постепенно засыхает. Теплая и сухая погода способствует развитию болезни, при холодной и дождливой погоде болезнь проявляется позднее и не так достаточно четко выражена. Признаки заболевания зерновых культур: внезапное побеление (отсюда и название «белая чума»)



Рис. 24. Изменение листьев у томатов:
1 — лист нормального растения; *2* — листья растений, не получивших медь.

и засыхание кончиков листьев. При сильной медной недостаточности заболевание проявляется через 4—6 или 8 недель после появления всходов. При более слабом развитии болезни отдельные злаки дают колосья, но растения так и остаются до осени зеленоватыми. Урожая зерна не бывает, а если и удается собрать некоторое его количество, то только в виде щуплых зерен.

Наиболее стойкой зерновой культурой к медной недостаточности является рожь, а ячмень, озимая и яровая пшеницы, белые сорта овса весьма чувствительны к медному голоданию. От медной недостаточности болеют также лен, конопля, свекла, горчица, горох, вика, люпин, табак, ягодные (смородина, земляника), овощные и другие культуры. Исключение составляет капуста, ко-



Рис. 25. Недостаток меди у яблони: отмирание верхушек побегов, опадение листьев и деформирование оставшихся листьев.

торая почти не реагирует на внесение меди. При недостатке меди листья салата отличаются слабым ростом, уродливой формой и беловатой окраской. У лука «болезнь обработки» вызывает рыхлое строение луковицы и образование ненормальной тонкой чешуи светло-желтого цвета. Симптомы заболевания томатов: слабое развитие корней, закручивание листьев (рис. 24), появление темной синевато-зеленой окраски, отсутствие цветков.

Плодовые деревья (яблоня, груша, слива, абрикосы, персики, цитрусовые) при недостатке ионов меди в почве заболевают суховершинностью (экзантемой). При этом отмирают верхушки ветвей, приостанавливается рост побегов, образуются мелкие скрученные листья



Рис. 26. Недостаток меди у сливы: видна деформация листьев (различная степень хлороза).

(рис. 25, 26). У цитрусовых культур наблюдается к тому же появление неестественно длинных и мягких, прогибающихся в виде буквы S побегов, на которых растут широкие темно-зеленые листья неправильных очертаний с дугообразным выгибом средней жилки. При более сильном голодании эти листья цитрусовых, так же как и плодовых деревьев, становятся очень мелкими и быстро отпадают вместе с отмирающими побегами. Листья же на старых ветвях дерева по-прежнему остаются темно-зелеными, но имеют неправильную форму и расщепляются. При дальнейшем течении болезни листовая пластинка приобретает светло-зеленую окраску с выделяющимися темно-окрашенными жилками; плоды покрываются темно-бурыми наростами, переходящими затем в черную окраску. Большая часть плодов опадает и резко теряет свои вкусовые качества (рис. 27). У заболевших плодовых деревьев резко снижается содержание меди. Например, определение ионов меди в листьях здоровой сливы и страдающей «болезнью обработки» показало снижение содержания меди в больных растениях по сравнению со здоровыми почти в 2 раза (3,2 и 6,3 мг/кг). Количество меди в различных растениях и отдельных их органах зависит как от видовых особенностей, так и от почв. Больше всего этого микроэлемента в семенах льна (20,5 мг/кг сухого вещества), в зеленой массе люпина и в ботве картофеля (18 мг/кг сухого вещества), меньше всего в стеблях и листьях подсолнечника (3,4 мг/кг сухого вещества). Если сравнивать содер-



Рис. 27. Недостаток меди у цитрусовых: нормальный плод и больные плоды апельсина.

жание меди в ботве и клубнях картофеля и брюквы, то соотношение меняется в 3 раза.

Свойства почв оказывают существенное влияние на количество меди в растениях. Так, содержание меди в сельскохозяйственных культурах, произрастающих на дерново-подзолистых суглинках, по сравнению с черноземом, как правило, выше.

В зернах овса, пшеницы, ячменя и вики, выращенных на дерново-подзолистых почвах, меди содержится 7 мг/кг сухого вещества, что примерно в 1,5 раза больше, чем в тех же зернах, полученных на мощном черноземе. Исключение составляют корни сахарной свеклы, в которых количество меди (6,5—7,0 мг/кг сухого вещества) практически не зависит от почвы, где они выращены. Из почвы меди выносится одними растениями больше, а другими меньше. Из всех сельскохозяйственных культур, пожалуй, только зерновые злаки выносят из почвы малое количество меди: 15—30 г этого элемента на каждый гектар пашни. Другие же культуры выносят меди значительно больше. Клевер с 1 га пашни выбирает 25—30 г этого микроэлемента при урожае сена 20—40 ц с 1 га, а корнеплоды и того больше: 40—80 г с 1 га пахотной земли при урожае 250—500 ц с 1 га.

Несмотря на то что ионы меди найдены в растениях еще в начале XIX в., систематические сведения о физиологическом значении меди в жизни и развитии растений отсутствовали до последнего времени. В относительно недавно проведенных исследованиях выявилось значе-

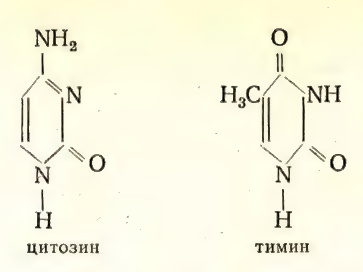
ние меди в таких биохимических процессах, протекающих в растительных организмах, как синтез белка и нуклеиновый обмен. Была определена доля участия ионов меди в биосинтезе белка, а также вскрыта роль меди при обмене продуктов, возникающих в результате разрушения сложных белков. Подобный процесс распада, в котором участвуют нуклеиновые кислоты, получил название нуклеинового обмена.

Аминокислоты являются составляющими белков и главной частью протоплазмы всех клеток. Ионы меди образуют с аминокислотами стабильные комплексы, которые более прочны, чем аналогичные соединения других металлов. В клетках зеленой части растений медь всегда связана с белковой молекулой и никогда не бывает в низкомолекулярной форме. И наоборот, в незеленых органах растений, например в его корнях, были найдены низкомолекулярные белки, содержащие медь. Этот микроэлемент своим взаимодействием с аминокислотами влияет на их содержание в растениях (особенно первичных аминокислот). Ионы меди стимулируют начальные стадии усвоения аммиака растениями, играют важную роль в азотном обмене растений. Недостаток соединений меди вызывает различные расстройства азотного обмена.

Кроме участия ионов меди в биосинтезе белков или регулирования активности их составляющих — аминокислот, существует еще одна важнейшая проблема, относящаяся к выяснению роли меди в физиологическом воздействии на растительные организмы: участие меди в нуклеиновом обмене. Участниками такого обмена являются нуклеиновые кислоты, представляющие собой биополимеры. Состоят они из большого числа отдельных элементарных звеньев нуклеиновых кислот — нуклеотидов. В настоящее время известны четыре основных нуклеотида:

гуанин

аденин



К простейшим природным нуклеиновым кислотам относятся так называемые транспортные рибонуклеиновые кислоты (или сокращенно *т*-РНК), в состав которых входит около 70—80 нуклеотидов. Задачами рибонуклеиновых кислот являются связывание определенных аминокислот и доставка их к месту синтеза. Известному к настоящему времени количеству *т*-РНК соответствует такое же число аминокислот, входящих в состав белка. Ионы меди, обладающие способностью к образованию комплексных соединений, влияют как на структуру нуклеиновых кислот, так и на их функции. Выяснилось, что сила воздействия таких образований превосходит даже воздействие большинства аминокислот. А раз так, то невольно возникает вопрос: не в этом ли причина биологического значения РНК в жизни растительного и животного мира? Так медь, один из микроэлементов, возможно, позволит заглянуть в сокровенные тайны молекулярной биологии.

Есть еще одна важная особенность меди — возможность входить в состав ферментов — природных белковых катализаторов. Среди растительных организмов, имеющих в своем составе медь (содержащие ферменты), такие культуры, как картофель, тыква, горох, а также грибы и некоторые бактерии. Названия некоторых медьсодержащих ферментов с указанием в скобках содержания меди в них такие: дифенолоксидаза (0,27%), аскорбиноксидаза (0,25%), полифенолоксидаза (0,21%). Кроме этих, известно еще много медьсодержащих ферментов и ферментов, активируемых медью. Полифенолоксидаза и аскорбиноксидаза относятся к группе окислительных ферментов. Они участвуют в прямом окислении органических соединений молекулярным кислородом, но каждый из них имеет свои специфические особенности.

Полифенолоксидазу открыли в 1937 г. Этот фермент, по всей вероятности, является переносчиком кислорода при окислительных процессах и может даже расщеплять воду на кислород и ион водорода. Медь в состав этого фермента входит в виде иона Cu^{2+}.

Аскорбиноксидаза довольно широко распространена в капусте, тыкве, огурцах и других овощных культурах. Этот фермент является органическим катализатором в процессе превращения аскорбиновой кислоты в дегидроаскорбиновую кислоту.

Известно, что ионы меди обладают каталитическими свойствами, которые значительно усиливаются, если они связываются с белковой молекулой. Так рождаются ферменты с большой окислительной способностью.

Что же все-таки лежит в основе удивительной окислительной способности медьсодержащих ферментов? Дело, оказывается, заключается в том, что медь способна изменять степени окисления в окислительно-восстановительных реакциях $Cu^{2+} \rightleftarrows Cu^{+}$. Это и позволяет ионам меди вместе с железом, марганцем и кобальтом не только регулировать окислительно-восстановительные реакции, протекающие в растениях, но и играть важную роль в их усилении. Именно благодаря меди, содержащейся в ферментах, происходит увеличение образования в растениях более окисленных продуктов — органических веществ (органических кислот).

Накопление в растениях органических веществ приводит к улучшению организации питания растений, а следовательно, и к повышению урожая. Способность ионов меди участвовать в окислительно-восстановительных реакциях позволила оценить роль этих ионов в фотосинтезе и дыхании растений. Доказательством влияния ионов меди на фотосинтез является скопление этого элемента в хлоропластах, в которых сосредоточено до 70% меди, находящейся в листьях растений. Тем самым медь оказывает стабилизирующее влияние на хлорофилл, предохраняя его от разрушения. Выяснение механизма, стабилизирующего действия меди на хлорофилл в растениях, показало, что в основе его лежит прямая зависимость между содержанием хлорофилла и белка. Действительно, если растение поместить в темноту, то в нем наблюдается уменьшение белка и соответственно хлорофилла. Опыт можно усложнить, если наряду

с контрольным экземпляром растения ввести другое аналогичное растение, отличающееся от контрольного только тем, что оно получает ионы меди. Несмотря на то что в темноте оба растения будут терять белок и соответственно хлорофилл, однако темп этой потери будет значительно ниже у растения, получившего в качестве питания некоторую дозу медного удобрения. Другим примером, показывающим роль элемента меди в фотосинтезе растений, является такой интересный факт, подмеченный учеными еще в 1959 г. Растения, не получившие достаточного количества ионов меди, были подвергнуты воздействию пониженной температуры (+5 °С) в течение 16 ч. После этого их перенесли в помещение с температурой +21 °С. И несмотря на нормальные условия, интенсивность фотосинтеза снизилась на 21%. Опыт для аналогичных растений, но получивших достаточное количество меди, показал, что при помещении в нормальные условия у растений наблюдалось не снижение интенсивности фотосинтеза, а даже увеличение его на 19%.

Поскольку фотосинтез и дыхание тесно связаны между собой в едином процессе жизнедеятельности растений, то можно предполагать, что медьсодержащие ферменты играют определенную роль при дыхании растений. Например, в опытах с кукурузой было отмечено повышение интенсивности дыхания. У сахарной свеклы и овса в большинстве случаев интенсивность дыхания снижалась при недостатке ионов меди. То, что медь способствует увеличению количества белка и усилению дыхания растения, которые присущи молодым организмам, позволяет сделать интересный вывод: медь задерживает старение растений.

Интенсивность дыхания и усиление синтеза белка под воздействием меди не только задерживает старение организмов различных растений, но и повышает их устойчивость к грибным заболеваниям и увеличивает общую устойчивость растений, в том числе их засухоустойчивость и холодоустойчивость.

Меди принадлежит большая роль в физиологических процессах, оказывающих решающее значение на повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

ЦИНК

Первое упоминание о цинке, как о микроэлементе, влияющем на рост растений, относится к 1869 г., когда Дж. Ролен, добавив ничтожное количество этого элемента к грибкам и водорослям, обнаружил положительное влияние цинка на развитие низших растений. Необходимость цинка для высших растений была показана в 1872 г. нашим соотечественником К. А. Тимирязевым. Сведения по содержанию цинка в растениях были собраны многими исследователями в первой трети XX столетия. В 1914 г. показано, что кукуруза не может нормально расти без цинка. Через пять лет, в 1919 г., отсутствие цинка в питательной среде вызвало значительную (почти в 2000 раз) потерю массы мицеллия гриба. Систематические сведения о значении цинка для нормального роста и развития растений появились в печати в конце 20-х и начале 30-х годов. В 1926 г. обнаружилось, что ячмень и подсолнечник вовсе не могут развиваться без цинка. В 1928 г. опыты с гречихой и бобами показали необходимость цинка для нормального их роста и развития. У бобов отсутствие цинка вызывало опадение листьев и цветочных почек. В 1954 г., выращивая 26 различных культур без добавления цинка и с внесением удобрений, установили, что одни растения в большей, а другие в меньшей степени нуждаются в цинке. Для сравнительной оценки действия цинка к настоящему времени систематизированы результаты анализа большого количества растений. Теперь установлено, что цинк входит в состав различных органов всех растительных организмов, но содержание этого элемента в различных растениях очень разнообразно.

Способность извлекать цинк из почвы у разных видов растений далеко не одинакова. Например, люцерна находила для себя этот элемент там, где злаки страдали от цинковой недостаточности. Присутствие люцерны в садах предупреждало появление мелколистно-розеточной болезни, вызываемой недостатком цинка у плодовых деревьев. Сорные растения вообще содержат больше цинка, чем культурные. Наиболее высокое количество цинка у ядовитых грибов; много этого элемента в лишайниках и хвойных деревьях. Не в этом ли объяснение бурного роста различных сорняков?

Таблица 17

Содержание цинка в растениях и вынос из почвы урожаями различных культур на черноземе (по данным М. В. Каталымова)

Название растения	Содержание цинка растениями, мг/кг сухого вещества	Вынос цинка, г/га	Название растения	Содержание цинка растениями, мг/кг сухого вещества	Вынос цинка г/га
Фасоль:			Овес:		
семена . . .	33,0	54	зерно	36,0	
солома . . .	20,0		солома . . .	35,0	145
Люцерна:			Свекла кормовая		
сено	25,0	75	корни . . .	25,0	153
Пшеница яровая:			листья . . .	22,5	
зерно	65,0	87	Подсолнечник:		
солома . . .	16,0		семена . . .	52,5	174
Ячмень:			стебли, листья	25,0	
зерно	38,0	97	Свекла сахарная		
солома . . .	20,0		корни . . .	17,5	188
			листья . . .	50,0	

Многочисленными определениями показано, что количество цинка в растениях колеблется от десятитысячных до сотых долей процента. У различных растений, выращенных в одних и тех же условиях (например, на черноземе), содержание цинка составляет от 16 до 65 мг на 1 кг сухого вещества. В этом случае изменение количества цинка в растениях связано с их биологической особенностью. Неодинаков и вынос цинка урожаями сельскохозяйственных культур (табл. 17). Здесь нет прямой пропорциональной зависимости, но картина получается довольно наглядной. Больше всего собирают цинка из почвы с урожаями свеклы, подсолнечника, проса и овса, меньше всего — с урожаями фасоли, люцерны и пшеницы. Минимальное и максимальное количества цинка, выносимого из почвы урожаями сельскохозяйственных культур, отличаются друг от друга более чем в 3 раза и составляют 54 и 188 г на 1 га пахотной земли.

Поступление цинка в растения и вынос его с урожаем сельскохозяйственных культур определяются не только биологической особенностью отдельных растений, но

и свойствами почв, на которых они выращиваются. Если сравнить содержание цинка в растениях и вынос его с урожаем одних и тех же культур, возделанных на мощном черноземе и на дерново-подзолистых почвах, то нетрудно заметить, что на дерново-подзолистом суглинке в растения поступает и выносится с урожаем больше цинка, чем на мощном черноземе. Эта простая, но очень важная зависимость для жизнедеятельности растений была проверена на главных почвенных типах нашей страны применительно к четырем культурам: ячменю, льну, красному клеверу и горчице.

В зависимости от типа почвы поступление цинка в растения существенно изменялось: для ячменя в 2 раза (от 40 до 80 мг), для льна (от 38 до 115 мг) и клевера (от 60 до 180 мг) в 3 раза, для горчицы даже более чем в 4 раза (от 106 до 437 мг). Больше всего цинка из почвы поступает к горчице, меньше всего — к ячменю и льну, красный клевер занимает среднее положение. Из приведенных данных выявляется одна интересная и важная особенность для сельского хозяйства. Известкование почвы снижает поступление цинка в растения; наибольшее количество цинка извлекается из неизвесткованной дерново-подзолистой почвы. Во всех других случаях усвоение цинка растениями было заметно ниже. Опыты со льном показали, что увеличенис дозы извести, вводимой в почву, снижает содержание цинка в растениях (данные М. В. Каталымова):

Дозы извести, т/га	0	2,25	4,5	9,0	13,5	22,5
Содержание цинка у льна, мг/кг	55,0	51,3	49,0	48,3	46,7	36,3

Для различных органов растений была установлена одна общая закономерность: больше всего цинка содержится там, где много хлорофилла. В листьях овса найдено 20—30% цинка от общего количества его в растениях. Повышенное содержание цинка обнаружилось в листьях пшеницы (по сравнению с ее стеблем). Более высокое сосредоточение цинка отмечено в точках роста растения, в его генеративных органах. Ученые показали, что цинк в больших количествах поступает в молодые растущие органы растений. Однако наибольшее скопление цинка (так же как бора и меди) отмечено в зародышах семян. Эти факты свидетельствуют, что с цинком



Рис. 28. Недостаток цинка у яблони:
1 — листья и плод, получившие цинк; 2 — узкие деформированные хлоротичные листья и мелкий плод при недостатке цинка.

связаны важнейшие процессы жизнедеятельности растений, в том числе такие, как фотосинтез и размножение. Есть основания полагать, что цинк в процессах размножения играет общебиологическую роль.

Недостаток цинка, а точнее, его подвижной формы в питательной среде приводит к патологическим изменениям в растениях. Среди них главным является задержка роста, приводящая к почти полному прекращению роста междоузлий. И как следствие этого — появление приземистых форм растений. Такое ненормальное развитие растений объясняется содержанием ауксина, причем уменьшение цинка в растениях приводит к понижению в них ауксина. Причиной уменьшения ауксина при цинковой недостаточности является, по-видимому, не столько усиление его окисления, сколько ухудшение биосинтеза предшественников ауксина, например индолилуксусной кислоты, триптофана и других аминокислот. Другим симптомом цинковой недостаточности, в частности, у листопадных плодовых деревьев, таких, как яблони, является небольшой размер листьев, составляющий $^1/_{10}$—$^1/_{20}$ от нормальной их величины, располагающихся на ветке в форме розетки. Это заболевание называется мелколистностью и розеточностью (рис. 28). На деревьях, страдающих такой болезнью, плодовых почек образуется мало, а появляющиеся немногочисленные плоды бы-

вают небольшой величины и уродливой формы. На листьях больших растений, приобретающих ненормальную форму, появляются хлоротические пятна, которые становятся светло-зелеными, а иногда желтыми и даже белыми. По мере развития болезни у деревьев через несколько лет начинают отмирать ветви, а при более сильном цинковом голодании возможна гибель растения. Кроме яблонь, мелколистностью и розеточностью могут заболеть и другие плодовые деревья: груша, слива, вишня, черешня, виноград, персики, абрикосы (рис. 29).

От недостатка цинка заболевают и цитрусовые культуры: мандариновые, апельсиновые и лимонные деревья. Болезнь эта носит название «пятнистость» или «крапчатость» листьев и во многом напоминает мелколистность и розеточность яблонь. На листьях цитрусовых деревьев появляется хлоротическая крапчатость листьев.

Возникает она вначале на самых нижних побегах и постепенно распространяется к вершине дерева. Листья между жилками становятся желто-зелеными, а по мере их старения — багрово-красными. Такие листья начинают преждевременно опадать, вызывая оголение побегов, на концах которых образуются розетки из мелких листьев. При значительном цинковом голодании эти листья становятся очень твердыми. Если на таких больных деревьях появляются плоды, то бывает их очень мало, они имеют неправильную форму и обладают плохими вку-



Рис. 29. Недостаток цинка у винограда: межжилковый хлороз листьев.

совыми качествами. После 3—4 лет цинкового голодания деревья погибают. Отмечена болезнь цинковой недостаточности у грецкого ореха (желтуха) и у тунгового дерева (бронзовость листьев). Симптомы заболевания практически те же самые. У грецкого ореха образуются мелкие листья, располагающиеся в форме розетки (рис. 30); у тунгового дерева заболевание обнаруживается в мае — июне по образованию бронзовой окраски листьев, которая затем темнеет и переходит в некротические пятна отмершей ткани, листья становятся как бы разорванными.



Рис. 30. Недостаток цинка у грецкого ореха: слабый хлороз.

Из травянистых растений цинковая недостаточность чаще всего проявляется у кукурузы. К внешним признакам болезни относятся такие признаки: побеление верхушки, образование желтых хлоротических полос между жилками листьев, появление светло-желтой, иногда даже белой окраски у вновь образующихся листьев, отмирание нижних листьев.

Известны, хотя и достаточно редко встречаются в полевых условиях, также общие признаки цинковой недостаточности у овощных культур: картофеля, томатов, тыквы, горчицы (рис. 31). Прежде всего это пятнистость, хлороз, уменьшение листовой пластинки. У бобовых симптомы цинкового голодания проявляются при содержании цинка в листьях менее 0,002%. Однако болезнь не дает о себе знать вплоть до цветения этого растения. В период цветения бобовые быстро теряют

листья, к тому же стручков, не содержащих семян, образуется мало. Из бобовых культур фасоль и соя являются наиболее чувствительными к болезни, вызванной отсутствием цинка.

Все растения, не исключая плодовые деревья, подвержены болезни цинковой недостаточности. В зимнее время очень чувствительны к морозам, неустойчивы против них и постепенно засыхают. Давно уже подмечено, что количество цинка в растениях в какой-то степени зависит от метеорологических условий. В те годы, когда выпадает большое количество осадков, содержание цинка в растениях увеличивается по сравнению с годами, когда осадков бывает поменьше.

Физиологическая роль цинка — его многостороннее влияние на жизнь и развитие растений — изучалась многими исследователями. В конце 30-х и начале 40-х годов были проведены исследования, показавшие структурные изменения в клетках при цинковом голодании и сыгравшие определенную роль в понимании физиологического значения цинка. Этот микроэлемент принимает участие в деятельности металлоферментов и активизации металлоферментных комплексов. В настоящее время из 800 известных ферментов около 30 относится к цинксодержащим, число которых все время увеличивается (достаточно сказать, что в 1952 г. таких цинксодержащих ферментов было только 7).

Первым ферментом, где в 1932 г. был обнаружен



Рис. 31. Влияние цинка на рост томатов:
1 — без цинка; 2 — с цинком.

цинк, является карбоангидраза. Этот фермент, полученный в виде кристалла, представляет собой сложное образование, состоящее из белка и небелкового компонента, называемого простетической (активной) группой. Отличительной особенностью последней является то, что она по существу определяет каталитические способности фермента. Белковая же часть фермента обусловливает специфические свойства, их избирательность действия на строго определенный процесс. Содержание цинка в карбоангидразе составляет 0,33—0,34%, он прочно связан в белковой молекуле этого фермента.

Нахождение цинка в карбоангидразе у растений было установлено в 1946 г. Этот фермент оказался катализатором обратимой реакции расщепления угольной кислоты на оксид углерода (IV) и воду.

Было показано, что цинк в составе рассматриваемого фермента участвует в выделении углекислого газа. Карбоангидраза, способствуя улавливанию его, оказывает влияние на дыхание растений. Можно определенно утверждать, что снижение активности цинксодержащих ферментов безусловно сказывается на работе других самых разнообразных ферментативных систем и может вызвать отклонения в реакциях дыхания растений. Для всех культур, содержащих карбоангидразу (например, овес, горох, петрушка, томаты), установлена определенная зависимость между уменьшением или увеличением количества цинка и активностью карбоангидразы в растениях; активность карбоангидразы снижается при недостатке цинка.

Цинк является компонентом очень многих дегидрогеназ. Наиболее изученной из всех известных дегидрогеназ является алкогольдегидрогеназа, в которой на одну молекулу белка приходится 4 атома цинка. Алкогольдегидрогеназа играет определенную роль в образовании пигментного аппарата растений, а недостаток цинка в листьях растений снижает ее активность. Это приводит к уменьшению размеров пластид и образованию в них вакуолей, содержащих фенольные соединения, а также к сильному поражению хлоропластов, которые, сливаясь и собираясь в группы, задерживаются в своем развитии или совсем разрушаются. Алкогольдегидрогеназа содержится в пшенице, горохе, кукурузе, рисе, сахарной свекле, петрушке, шпинате, табаке, листьях мяты перечной,

семенах многих растений, в грибах и бактериях. При цинковой недостаточности в грибах отмечено ослабление интенсивности окислительных процессов и накопление промежуточных, менее окисленных соединений. В этом случае наблюдается отсутствие фермента алкогольдегидрогеназы, обычно обнаруживаемого в грибах.

Механизм активирования цинком кристаллической дрожжевой алкогольдегидрогеназы (сокращенно ДАД) в присутствии никотинамидадениннуклеотида (НАД), по данным Хоха и Валли, представляется так:

$$\text{ДАД}\cdot\text{Zn} + \text{НАД} \rightleftarrows \text{ДАД}\cdot\text{Zn}\cdot\text{НАД},$$

$$\text{ДАД}\cdot\text{Zn}\cdot\text{НАД} + C_2H_5OH \rightleftarrows \text{ДАД}\cdot\text{Zn}\cdot\text{НАД}\cdot\text{H} + \\ + CH_3CHO + H^+,$$

$$\text{ДАД}\cdot\text{Zn}\cdot\text{НАД}\cdot\text{H} \rightarrow \text{ДАД}\cdot\text{Zn} + \text{НАД}\cdot\text{H}$$

Из схемы видно, что цинк связывает НАД и НАД·Н с возникновением ферментоэнзимного комплекса. Диссоциация этого комплекса определяет протекание всех остальных реакций. Цинк, обеспечивая каталитическую функцию фермента, служит и для ее стабилизации.

Цинк входит в состав целого ряда ферментов и активирует деятельность многих из них, например щавелеуксусную дегидрогеназу, ответственную за образование пировиноградной кислоты и отщепление CO_2 от щавелеуксусной кислоты. Поскольку пировиноградная кислота является основным звеном обмена веществ в растительной клетке, то можно полагать, что цинк влияет на образование пировиноградной кислоты и поэтому имеет важное значение для процессов обмена в растительных организмах. Другой цинксодержащий фермент — триозефосфатдегидрогеназа участвует в окислении и фосфорилировании фосфоглицеринового альдегида с образованием дифосфоглицериновой кислоты и регулирует поступление фосфора в растения. В условиях цинковой недостаточности активность триозефосфатдегидрогеназы снижается и начинается повышенное поступление неорганического фосфора в листья, стебли и корни растений. Одновременно уменьшается количество различных органических соединений фосфора (общего фосфора, нуклеотидов, лабильного фосфора, фосфора липидов и нуклеиновых кислот) в растениях. Например, цинковая недостаточность приводит к резкому увеличению содер-

жания неорганического фосфора в ячмене, горохе, томатах и снижению содержания фосфора, входящего в состав нуклеотидов, липоидов и нуклеиновых кислот. Нарушения в поглощениях фосфора растениями нормализуются после добавления цинка в питательную среду. Значительна роль цинка в окислительно-восстановительных процессах, протекающих в растениях. При ухудшении условий питанием цинком наблюдаются функциональные расстройства и нарушение окислительно-восстановительных систем. Этот микроэлемент в подобных процессах по сравнению с марганцем и медью играет несколько иную роль. Марганец и медь усиливают окислительные процессы с образованием в растениях более окисленных соединений, а цинк в общей цепи окислительно-восстановительных процессов способствует усилению прямо противоположных процессов — восстановительных.

Нарушение окислительно-восстановительных процессов приводит к нарушению синтеза белка в растениях. Основной причиной этого является снижение активности различных ферментов в отсутствие или при недостаточности в них цинка. У томатов и овса отмечено снижение белка и значительное накопление небелковых растворимых соединений азота: почти двойное увеличение количества аминокислот и десятикратное увеличение амидов. Известно, что аминокислоты представляют собой как бы осколки белковой молекулы, подвергнувшейся гидролитическому расщеплению под воздействием некоторых ферментов. Амиды $R-C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle NH_2}{\lessgtr}}}$ в свою очередь получаются из аминокислот путем замещения гидроксила кислоты аминогруппой.

Есть основания полагать, что, оказывая влияние на нуклеиновые кислоты, цинк (необходимый, как теперь выяснилось, для их получения) регулирует синтез белка. Подтверждением этого является снижение содержания рибонуклеиновой кислоты РНК при недостатке цинка в листьях цитрусовых деревьев, яблонь, винограда, у томатов, ячменя, кукурузы.

Участие цинка в окислительно-восстановительных реакциях и регулировании активности ферментов синте-

за белка определяет влияние цинка на фотосинтез, образование хлорофилла и рост растений. Еще в 1940 г. было показано, что содержание хлорофилла у одноклеточной водоросли хлореллы зависит от наличия цинка. Отсутствие цинка приводило к уменьшению содержания хлорофилла в ней. Внесение этого элемента помогало очень быстрому восстановлению прежнего нормального содержания хлорофилла. Не исключена возможность, что с этим процессом связаны пигментные изменения, приводящие к различному содержанию хлоропластов у растений.

Таким образом, значение цинка для физиологии растений объясняется широким кругом процессов, в которых он принимает участие. Прежде всего в фотохимических реакциях. Как часть ферментов углеводного обмена (альдолазы, энолазы, карбоксилазы и др.) он активирует их и способствует повышению интенсивности фотосинтеза. При недостатке цинка в листьях растений наблюдается скопление редуцирующих сахаров и в меньших количествах сахарозы и крахмала. Цинковая недостаточность нарушает обмен крахмала и приводит к расстройству углеводного обмена. Можно отметить влияние микроэлемента на синтез и гидролиз углеводов. Выяснилось, что форма азота, которую получают растения, оказывается при этом решающим фактором. Если растения получают азотное питание в аммиачной форме, то количество сахарозы, например, в листьях гречихи и пшеницы увеличивается, а содержание моносахаров уменьшается. При нитратном питании растений цинк, уменьшая поступление сахаров в эти растения, в то же время увеличивает поступление в них моносахаров. И наконец, недостаток цинка сильно отражается на растениях с высоким содержанием углеводов.

Во время засухи цинк, увеличивая количество фосфатидов и нуклеопротеидов в растениях, нормализует их энергетические процессы. Поскольку фосфатиды являются посредниками в синтезе жирных кислот, то всякое возрастание количества фосфатидов приводит к увеличению количества в клетках растений жиров и жироподобных веществ, от которых и зависит засухоустойчивость растений. Особенно велика роль цинка, если этот элемент вносить под растения в критические для них периоды в отношении водоснабжения. Роль цинка в повышении

стойкости растений к различным неблагоприятным условиям объясняется способностью этого элемента сохранять наиболее высокое количество нуклеиновых кислот при самых минимальных возможностях их синтеза. Эта особенность цинка имеет большое практическое значение для сельскохозяйственных культур, выращиваемых в условиях Сибири и Дальнего Востока.

Суммируя данные о физиологической роли цинка в жизнедеятельности растений, можно вполне определенно говорить о многофункциональности этого элемента, так как недостаток цинка в питании растений приводит к нарушению их важнейших физиологических процессов.

МОЛИБДЕН

В лаборатории знаменитого русского агрохимика Д. Н. Прянишникова в 1912—1913 гг. впервые в мировой практике были проведены опыты по влиянию молибдена на яровую пшеницу. Примерно через 20 лет (1930—1936) Н. Бортельс опубликовал свои работы о роли молибдена в биологической фиксации атмосферного азота. Позднее было доказано положительное влияние молибдена на урожай бобовых культур, кукурузы, томатов. Эти исследования еще не давали однозначного толкования действия молибдена на растения.

В 40-х годах (1943—1948 гг.) появились работы о содержании молибдена в растениях.

В 1940 г. И. Р. Работнова опубликовала литературный обзор, посвященный влиянию молибдена и других микроэлементов на клубеньковые бактерии. В 1948 г. М. Ф. Федоров при изучении химических явлений биологической фиксации азота сделал вывод, что молибден влияет на физико-химическое состояние ферментов клеток, усиливая ряд процессов, включая синтез протоплазмы.

Содержание молибдена в растениях составляет тысячные, десятитысячные, стотысячные, а иногда и миллионные доли процента в пересчете на сухое вещество растения. Сравнительно много молибдена в семенах всех растений, особенно бобовых. Например, в семенах зерновых культур молибдена содержится от 0,2 до 1,0 мг на 1 кг сухой массы, а в бобовых — от 0,9 до 18 мг на 1 кг. Но даже при самом высоком урожае бобовых и злаковых

трав количество молибдена исчисляется всего лишь десятками, редко сотней граммов на 1 га почвы. Содержание молибдена у одного и того же растения колеблется в зависимости от почвенных и климатических условий.

Больше всего молибдена накапливается в листьях растений, меньше — в стебле и корнях. Так распределяется молибден в растениях, выращенных на почвах, не обогащенных молибденом. При внесении же молибдена в питательную среду происходит общее обогащение растения этим элементом и наблюдается несколько другое, чем указано выше, перераспределение молибдена в органах растений: в стеблях молибдена накапливается больше, чем в листьях. В этом случае корни также характеризуются наименьшим содержанием молибдена. Вместе с тем в клубеньках бобовых культур молибден собирается в больших количествах. И еще одна особенность взаимосвязи молибдена и растения. Молибден аккумулируется больше всего в молодых растущих органах, откладываясь главным образом в верхней части растения.

По мере роста и развития растения количество молибдена в его листьях (особенно верхних) увеличивается. Если же растение вступает в фазу плодообразования, то содержание молибдена в листьях растения уменьшается и происходит отток этого элемента в репродуктивные органы растений. Удивительно то, что молибден передвигается по растению с очень большой скоростью. С помощью ^{99}Мо была зафиксирована скорость передвижения молибдена из листьев к корню, равная 1 см/сек.

Значительное влияние на поступление молибдена в растения оказывают метеорологические погодные условия. В засушливые годы содержание молибдена в растениях примерно в 2—3 раза выше.

По сравнению с другими микроэлементами молибден нужен растениям в значительно меньших количествах. Подсчитано, что для нормального роста и развития одной живой клетки требуется всего 10 атомов молибдена. Существует, однако, предел, ниже которого у растений появляется настоятельная потребность в этом микроэлементе: 0,1 мг на 1 кг массы сухого растения. Если содержание молибдена в растениях становится ниже, то наступает молибденовое голодание. У большинства растений важным признаком этой болезни является появление

желто-зеленых и бледно-оранжевых пятен, образующихся между жилками, в которых обычно и накапливается наибольшее количество молибдена. Пятнистость у растений, страдающих недостатком молибдена, сопровождается также увяданием листьев по их краям (например, у капусты), появлением закрученных пластинок (например, у томатов и картофеля) или образованием нитевидных листьев, вследствие того что молодые листья удлиняются быстрее, чем развивается их пластинка.

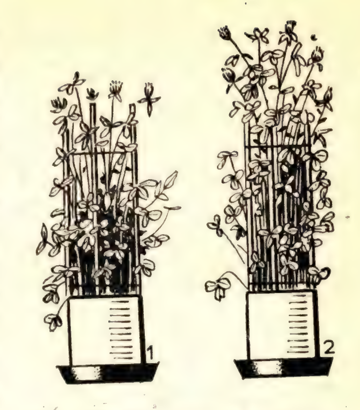


Рис. 32. Влияние молибдена на развитие клевера:
1 — без молибдена; 2 — после внесения молибдена.

Особенно чувствительно реагируют на недостаток молибдена растения, у которых содержание этого элемента повышенное. К ним относятся растения из семейства бобовых, и прежде всего травы — клевер, люцерна, а также крестоцветные — цветная капуста (симптомы заболевания у цветной капусты проявляются при концентрации молибдена в растении около 0,01 мг/кг), салат, шпинат и другие (рис. 32, 33, 34).

Недостаток молибдена проявляется в изменении внешнего вида растений. Это особенно заметно у клевера и трав. В первый год после появления всходов растения обеспечиваются молибденом за счет запасов, содержащихся в семенах, но на второй год жизни (первый год использования многолетних трав) недостаток молибдена у них проявляется более четко уже в начальный период их жизни, после того как сошел снег. Такие травы несколько позже трогаются в рост, образуют розетку с малым количеством листьев, а в дальнейшем и небольшое количество стеблей. Листья таких трав имеют бледно-зеленую окраску, которая резко отличается от густо-зеленого цвета у растений, имеющих достаточное количество молибдена. Листья больших растений имеют более продолговатую форму (отношение длины к ширине составляет 0,76, вместо 0,9 — для здоровых растений), черешки листьев короткие и тонкие, междоузлия у стеблей вытягиваются, а сами стебли так и остаются тонкими.

Внесение соединений молибдена в почву положительно сказывается на урожае сельскохозяйственных культур, особенно в районах подзолистых (кислых) почв.

Дело в том, что недостаток молибдена у растений определяется в значительной степени кислотностью почвы. Кислые почвы снижают подвижность молибдена и делают его трудноусвояемым для растений, что и обусловливает молибденовую недостаточность. К недугам растений, страдающих от молибденовой недостаточности,

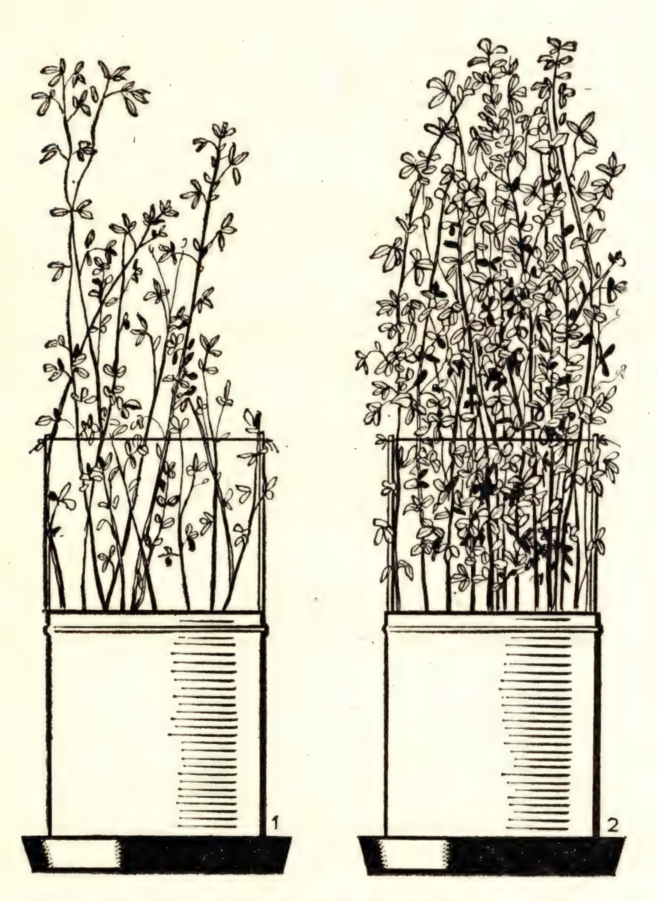


Рис. 33. Влияние молибдена на развитие люцерны:
1 — без молибдена; *2* — с молибденом.



Рис. 34. Влияние молибдена на развитие салата:
1 — без молибдена; *2* — после внесения молибдена.

относится болезнь «вайптеил» (Whiptail), или, как ее называют иначе, нитевидность цветной капусты и брокколи (рис. 35). У больных растений редуцируется листовая пластинка, и они теряют товарную ценность. Другая болезнь — желтая пятнистость цитрусовых — проявляется обычно в конце лета и обнаруживается по желтым пятнам на листьях (рис. 36). Пораженные листья опадают, а плодоношение таких деревьев сильно снижается. Особенность физиологической роли молибдена — способность участвовать в процессе фиксации молекулярного азота. Теперь мы непосредственно перейдем к рассмотрению биохимических процессов, протекающих с участием молибдена в растительных организмах. Такая способность молибдена послужила основанием для использования соединений молибдена в работе, проводимой в Институте химической физики АН СССР (А. Е. Шилов, Е. Т. Денисов и др.), по связыванию азота в мягких условиях. Это может привести к началу практического использования огромных (в миллиарды тонн) запасов азота, содержащихся в атмосфере, которые пока остаются практически недоступными. Чтобы представить роль и значение молибдена в природных процессах фиксации молекулярного азота, рассмотрим суть процесса несколько подробнее.

Основная трудность связана с исключительной инертностью молекулы азота из-за очень высокой энергии тройной связи $N \equiv N$, которая составляет 942 кдж/моль (первая связь обладает энергией 532 кдж/моль, две дру-



Рис. 35. Нитевидность капусты при недостатке молибдена.

гие соответственно составляют 251 и 159 кдж/моль). Преодолеть такой высокий барьер энергетической связи возможно при помощи ферментов — природных белковых катализаторов, ускоряющих процесс активации молекулярного азота.

Установлено, что в процессе биологической фиксации атмосферного азота главную роль играет фермент нитрогеназы, состоящий из двух белков. В состав молекулы одного из них входят 2 атома молибдена и около 30 атомов железа (молибдоферредоксин, или Fe-Mo — белок), в состав другого — только атомы железа (азоферредоксин, или Fe — белок). Роли между этими металлами — железом и молибденом — четко разграничены. Молиб-



Рис. 36. Желтая пятнистость листьев ананасового апельсина при недостатке молибдена.

ден активирует молекулу азота (таким же свойством обладает ванадий), а ионы железа используются как переносчики электронов. Весь процесс требует присутствия сложного соединения АТФ — аденозинтрифосфата, который служит источником энергии. Энергия, запасенная в фосфатных связях молекулы АТФ, составляет ~40 кдж/моль.

Лабораторная фиксация атмосферного азота — это восстановительная реакция с участием активированного азота и водорода. Механизм действия молибдена заключается в образовании биядерного комплекса, содержащего по два атома металла на одну молекулу азота. На поверхности ферментного комплекса нитрогеназы при участии энергии АТФ активированная молекула азота восстанавливается активированным водородом до аммиака.

В промышленном производстве аммиака энергия активации реакции азота с водородом составляет 70—80 кдж/моль, а при ферментативных многоступенчатых реакциях с участием молибдена и других микроэлементов, когда образуется активированный азот, она составляет 12—20 кдж/моль. В природе процесс фиксации атмосферного азота с образованием аммиака осуществляется более рационально.

М. Е. Вольпин и В. Б. Шур в Институте элементоорганических соединений АН СССР изучили механизм химической фиксации азота соединениями молибдена и другими переходными металлами. Они высказали соображение, что образование аммиака происходит по схеме:

$$\text{фермент}\left\langle{}^{Fe}_{Mo}\right. + N_2 \rightarrow \text{фермент}\left\langle{}^{Fe}_{Mo}\right\rangle N_2 \xrightarrow{H} NH_3$$

Активация азота осуществляется через образование комплекса с переходными металлами. Доставка активированного водорода к активированной молекуле азота осуществляется при помощи фермента (оксидоредуктазы). Успехи моделирования процесса биологической фиксации азота показывают, что биохимические процессы протекают при непосредственном участии молибдена (и возможно других металлов) с образованием комплексов.

Участие молибдена в биохимических процессах азотофиксации подтверждается тем, что в клубеньках бобовых культур процессы фиксации азота протекают с непре-

менным участием молибдена. Поэтому из всех известных растений наибольшую потребность в молибдене испытывают именно бобовые культуры. Правда, клубеньковые бактерии в чистой культуре не способны к биологическому процессу азотофиксации. Этот процесс осуществляется лишь в симбиозе с высшими растениями.

Проблема фиксации азота клубеньками бобовых культур привлекает внимание ученых еще с конца прошлого века. В 1893 г. выдающийся русский физиолог К. А. Тимирязев в лекции «Источники азота растений» подробно останавливался на усвоении молекулярного азота бобовыми растениями. Он говорил, что в результате заражения особыми микроорганизмами на корнях бобовых культур образуются клубеньки (желвачки, как их называл К. А. Тимирязев), в которых и осуществляются процессы усвоения азота из воздуха. Правда уровень экспериментальной техники того времени и методическая сложность проведения опытов с клубеньками, отделенными и не отделенными от корней, не позволили доказать поглощение азота из атмосферы. Но К. А. Тимирязев глубоко верил в фиксацию азота клубеньками бобовых культур и никогда не подвергал это свое убеждение сомнениям.

В том же 1893 г., когда К. А. Тимирязев читал свою историческую лекцию и говорил о возможной фиксации атмосферного азота бобовыми растениями, другой русский ученый С. Н. Виноградский впервые выделил свободноживущие в почве анаэробные бактерии Clostridium pasteurianum, которые, так же как и клубеньки бобовых культур, были способны фиксировать молекулярный азот воздуха. Открытые С. Н. Виноградским бактерии в процессе фиксации молекулярного азота из воздуха способны превращать глюкозу в уксусную CH_3COOH и масляную $CH_3CH_2CH_2COOH$ кислоты с выделением углекислого газа и молекулярного водорода.

В 1945—1957 гг. Д. Н. Прянишниковым и И. В. Тюриным были проведены соответствующие расчеты, которые показали интересные результаты. Оказалось, что клубеньковые бактерии (симбиотические азотофиксаторы) на корнях люцерны связывают в среднем около 300 кг азота на 1 га, причем после уборки урожая 100 кг этого азота остается в почве и используется последующими культурами, высеваемыми на эти же пахотные

земли в общей системе севооборота. Несколько меньше, но все же значительное количество азота связывается клевером, примерно 150—160 кг/га. Из них 75—100 кг остается в почве и обогащает ее. Такими же примерно азотонакоплениями обладает люцерна и несколько меньше — горох и вика.

Кроме участия в фиксации азота, другой важнейшей стороной физиологической роли молибдена является его участие в восстановлении нитратов и синтезе аминокислот у растений. Дело в том, что поступившие в растения нитраты должны быть непременно восстановлены, поскольку только эта восстановленная форма азота включается в биосинтез белка. Роль молибдена в восстановлении нитратов была впервые показана в 1937 г. В присутствии молибдена был зафиксирован усиленный рост растений, если в питательной среде находились еще и нитраты; аммонийный азот при этом оказывал очень незначительный эффект. Позднее, в 1948 г. было высказано предположение о катализирующем действии молибдена на процесс восстановления нитратов. Выяснилось, что снижение молибдена приводит к накоплению нитратов в растениях. В некротических пятнах листьев растений, страдающих от молибденовой недостаточности, было обнаружено больше нитратов, чем молибдена. Подобное явление наблюдалось у салата, цветной капусты и др.

Роль молибдена в процессе восстановления нитратов стала ясна лишь после того, как было обнаружено, что он входит в состав фермента нитратредуктазы. Для того чтобы разобраться, какое значение имеет молибден при действии нитратредуктазы, посмотрим, что входит в состав этого фермента и как он участвует в восстановлении нитратов. Нитратредуктаза содержит в небелковом компоненте — простетической (активной) группе флавинадениндинуклеотид (ФАД) или флавинмононуклеотид (ФМН), от которых молибден переносит электроны к группе NO_3^-, причем в качестве донора электронов и водорода служат восстановленный никотинамидадениндинуклеотид (НАД·Н) или восстановленный никотинамидаденин — динуклеотидфосфат (НАДФ·Н). Схематически это можно изобразить так:

$$\text{НАД}\cdot\text{Н (или НАДФ}\cdot\text{Н)} \rightarrow \text{ФАД (или ФМН)} \rightarrow$$
$$Mo^{+5} \rightleftarrows Mo^{+6} \rightarrow NO_3^{-1} \xrightarrow{Mo} NO_2^{-1}$$

Таким образом, восстановление нитратов до нитритов осуществляется в присутствии нитратредуктазы ионом молибдена Mo^{+5}, обратимо переходящим в степень окисления +6. В настоящее время нитратредуктазы выделены из различных растений: кормовых бобов, цветной капусты, водорослей и др. Установлено наличие молибдена как металла простетической группы нитратредуктазы в сое, цветной капусте, пшенице, рисе и некоторых других высших растениях.

Есть одна особенность молибдена в функциональной деятельности нитратредуктазы. Активность этого фермента полностью восстанавливается только при наличии молибдена (а точнее, его солей). Другие микроэлементы (медь, железо, ванадий, кобальт) решить эту задачу не в состоянии.

Является установленным фактом, что у растений, не получающих молибдена, наблюдается падение содержания аминокислот (аспарагиновой, глутаминовой, аланина, арганина и пролина) и как следствие снижение синтеза белка. При внесении молибдена и меди содержание белков в клубеньках кормовых бобов существенно возрастало. Этот процесс образования белков в клубеньках бобовых растений был непосредственно связан с увеличением содержания свободных аминокислот. В клубеньках кормовых бобов отмечено повышение свободной глутаминовой кислоты, серина и глицина, а в клубеньках люпина наблюдалось накопление аспарагина, совместное внесение этих элементов в дерново-подзолистую, суглинистую и супесчаную почвы, бедные молибденом и медью, в большей мере повышало урожай зерновых культур и увеличивало содержание в них белка.

Воздействие молибдена на содержание аминокислот — сложный процесс, и зависит он прежде всего от источника азотного питания. Например, при недостатке молибдена растения, имеющие в питательной среде нитраты, снижают содержание ряда аминокислот, а в присутствии нитритов, аммиачных солей, мочевины, глутаминовой кислоты увеличивают их концентрацию. Имеются данные, которые позволяют полагать, что влияние молибдена на аминокислоты зависит также от состава самих аминокислот.

Остановимся на последней, третьей группе биохимических процессов, протекающих с непосредственным

участием молибдена. Это влияние молибдена на биосинтез нуклеиновых кислот и белков. Молибден, находящийся в клетках растений, не остается индифферентным, а вступает во взаимодействие с другими элементами минерального питания растений. Одним из важнейших таких актов является взаимодействие молибдена с фосфором, что влияет на биосинтез нуклеиновых кислот и белков. Внесение соединений молибдена в питательную среду растений увеличивало содержание в них белкового фосфора на единицу белка и благоприятно отражалось на синтезе нуклеиновых кислот. Следовательно, фосфорные удобрения повышают эффективность действия молибдена на жизнедеятельность растений, что сказывается на синтезе хлорофилла и каротина.

Благоприятное влияние молибдена на образование хлорофилла наблюдалось как в случае нитратного, так и в случае аммиачного питания растений. Разница заключалась в значении pH. На фоне аммиачных солей молибден давал эффект лишь при pH 6,5. В более кислых средах, например при pH 5,3, в условиях аммиачного питания молибден на синтез хлорофилла действовал слабо, а иногда даже отрицательно. Но если наблюдалось положительное воздействие молибдена на образование хлорофилла в растениях, то это было однозначно улучшению фосфорного обмена у этих культур. Не исключено также образование целого ряда фосфорномолибденовых комплексов, играющих роль катализаторов в росте и развитии растений.

Молибден существенно влияет не только на фосфорный обмен. При недостатке этого элемента в тканях растений снижается концентрация аскорбиновой кислоты (витамина С), находящейся в ближайшей связи с простейшими сахарами. Отмечено падение концентрации свободной аскорбиновой кислоты в листьях цветной капусты, горчицы, кукурузы в условиях молибденовой недостаточности. В этих же условиях может происходить увеличение связанной формы аскорбиновой кислоты. Соотношение между различными формами аскорбиновой кислоты определяется концентрацией нитратного азота в питательной среде. Имеется прямая зависимость между содержанием азота и связанной формой аскорбиновой кислоты в листьях и корнях растений. В последнее время появились важные сведения о роли действия ас-

корбиновой кислоты на функциональное состояние хлоропластов.

Можно представить схему участия молибдена в синтезе белка. По-видимому, этот элемент реагирует с фосфором нуклеотидов, а также вступает во взаимодействия с рибосомами, которые непосредственно и осуществляют синтез белка при участии активированных аминокислот. В процессе синтеза белка молибден взаимодействует не только с фосфором, но и с магнием и калием. Есть также основания полагать, что молибден участвует в биосинтезе ферментного белка — нитратредуктазы.

КОБАЛЬТ

В 1735 г. шведский ученый Г. Брандт выделил из серебряной руды серый металл с розоватым оттенком — кобальт. Спустя более ста лет соединения этого элемента были обнаружены в растительных организмах. Несмотря на столь давнее открытие, предметом тщательного исследования в жизни растений кобальт по существу стал только в наше время. Первые систематизированные данные о нахождении кобальта в растениях опубликовал в 1922 г. академик В. И. Вернадский. В 1954 г. Холм-Хансен с сотрудниками установил необходимость кобальта для сине-зеленых водорослей. В целом ряде исследований показано положительное влияние кобальта на повышение урожая сельскохозяйственных культур: томатов, гороха, картофеля, сахарной свеклы, гречихи, ячменя и др. Отчетливо доказано влияние кобальта на ускорение развития растений, выработку в них засухоустойчивости, повышение темпов их роста, увеличение накопления сухой массы и, что не менее важно, улучшение качества сельскохозяйственной продукции (рис. 37).

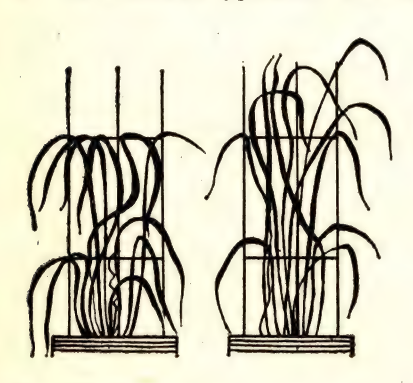


Рис. 37. Влияние кобальта на засухоустойчивость овса:
1 — без кобальта; *2* — с кобальтом.

В настоящее время кобальт найден во всех выс-

ших и низших растениях. Среднее содержание кобальта в растениях колеблется и составляет 0,05—11,6 мг/кг сухого вещества. Из высших растений больше всего кобальта содержится в водных растениях, причем в пресноводных меньше, чем в морских. Болотные и прибрежные растения из-за дефицита кобальта в почвах наиболее бедны им, что приводит к эндемическим заболеваниям местного скота, пасущегося на этих почвах. Большое количество кобальта сосредоточено в бобовых растениях (особенно в клубеньках), что указывает на прямую связь этого элемента с процессами азотофиксации. Несколько меньше содержится кобальта в зерновых культурах. В листьях свеклы количество кобальта приближается к бобовым культурам.

Почвенные грибы среди других микроэлементов также используют для питания кобальт. Потребление кобальта из почв сахарной свеклой, бобовыми травами и зерновыми культурами (табл. 18) имеет несколько иные величины.

Таблица 18

Количество кобальта, содержащееся в сельскохозяйственных культурах и потребляемое ими из почвы

Название растения	Содержание кобальта, мг/кг сухого вещества	Количество кобальта, потребляемое из почв, г/га
Сахарная свекла . . .	0,22—0,49	1,9—3,0
Бобовые травы	0,38—0,47	1,1—2,1
Яровые зерновые . . .	0,29—0,37	0,8—1,9

Из этих трех культур наибольшее количество кобальта потребляет сахарная свекла, наименьшее — зерновые культуры.

Бобовые травы занимают промежуточное положение. В целом потребление кобальта этими культурами колеблется от 0,8 до 3,0 г/га, т. е. почти в 4 раза.

У кобальта (в отличие от других микроэлементов) есть интересная особенность — накапливаться в растениях (в основном в бобовых) впрок, т. е. в большем количестве, чем это требуется для их нормального развития.

Отлагаясь в растениях, кобальт в неодинаковых количествах размещается в его органах. Для бобовых рас-

тений более значительная часть кобальта накапливается в корнях, а также наземных органах — в стеблях и листьях. Наименьшее количество кобальта сосредоточено в семенах растений.

При увеличении питательной дозы кобальта для растений возрастет содержание этого элемента и в отдельных их органах. Так, при возрастании дозы кобальта в питательной смеси с 0,01 до 0,1% количество кобальта в корнях и семенах бобовых культур увеличивается соответственно в 1,1 и 1,7 раза, а в листьях — почти в 3 раза. Однако такое распределение кобальта в органах растений не сохраняется для других культур. Например, у горчицы больше всего кобальта найдено в цветках, у проса — в стеблях, у овощных культур — в листьях. У сахарной свеклы, как и у бобовых, больше всего кобальта находится в мелких корешках. Содержание кобальта в органах растений не остается постоянным, а изменяется с возрастом, причем в корнях и листьях наблюдается уменьшение кобальта вследствие увеличения растительной массы, в которой и происходит как бы разбавление первоначальной концентрации кобальта.

Кобальт, концентрируясь больше в генеративных, чем в вегетативных органах, ускоряет прорастание пшеницы и, таким образом, подтверждает свое участие в процессах оплодотворения. В стимулирующем действии кобальта на развитие растений в настоящее время сомнений нет. Остается выяснить, в каких же формах и соединениях содержится кобальт в растениях. Надо сказать, что эти формы разнообразны. В растительных организмах кобальт содержится в ионной форме, в стабильных органических комплексах и в витамине B_{12}, играющем важнейшую роль в процессах кроветворения живых организмов.

Кобальт, оказывая благотворное влияние на жизнедеятельность растений при повышенных дозах его применения, вызывает нарушение в снабжении элементами минерального питания растений, что приводит к их заболеванию — хлорозу. Хлороз от применения повышенных доз кобальта наблюдается у томатов, сахарной свеклы, картофеля, брюквы, бобовых культур и др. Сказанное отчетливо иллюстрируется таким примером. Были высеяны семена кормовых бобов, обработанные раствором сульфата кобальта различной концентрации (от

0,01- до 1,0-процентной). Наблюдение за всхожестью семян показало, что применение кобальта в ионной форме уже при концентрации кобальта 0,1% оказывает заметное токсическое действие на растения. В этом случае количество растений, зараженных хлорозом, составляет 18% от общей всхожести кормовых бобов. При концентрации кобальта в 1% количество таких больных растений достигает уже 50%, а всхожесть семян сокращается наполовину.

Происходят в бобовых культурах и качественные изменения: нарушается обмен веществ, почти в 3 раза сокращается количество хлорофилла, снижается темп роста растений и в конечном счете они погибают.

Мнения ученых по поводу рассмотренного явления хлороза разделились. Одни полагают, что это следствие торможения образования хлорофилла в условиях повышенной обеспеченности растений кобальтом, другие усматривают в нем быстрый окислительный распад самого хлорофилла. Считают также, что при кобальт-хлорозе в ущерб высокомолекулярным белкам и образующимся комплексам хлорофилла с белком могут происходить новые образования различных аномальных, низкотемпературных, биологически неактивных белков.

Физиологическую роль кобальта в жизни растений начали изучать только в течение последних 20—30 лет, так как долгое время существовало мнение о случайном присутствии этого элемента в растительных организмах. После того как выяснилось, что растения, обедненные содержанием кобальта, вызывают серьезные эпидемические заболевания сельскохозяйственных животных (овец, коров и др.), интерес к кобальту как к микроэлементу весьма возрос. Это сыграло значительную роль в развитии физиологических знаний об этом элементе.

В целом ряде работ было показано значение кобальта для повышения содержания хлорофилла в листьях. Предпосевная обработка семян растворами сульфата кобальта от 0,01- до 0,1-процентной концентрации стимулировала повышение содержания хлорофилла в листьях кормовых бобов во все фазы развития растения. Пик увеличения хлорофилла не сдвигался во времени, а только повышался по сравнению с контрольным результатом без дозировки кобальта примерно на 30% (рис. 38). Влияние кобальта на увеличение хлорофилла в листьях

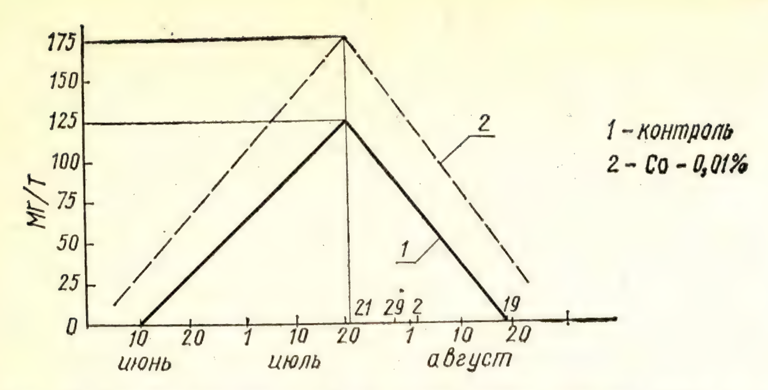


Рис. 38. Влияние предпосевной обработки семян кормовых бобов раствором сульфата кобальта на содержание хлорофилла в листьях.

растений увязывается с возможностью возникновения устойчивых образований вообще всех металлов с хлорофиллом. Полагают, что при взаимодействии хлорофилла с кобальтом получаются комплексы, отличающиеся большей устойчивостью к различным реагентам, чем хлорофилл. Было также определено, что кобальт оказывает положительное действие на накопление хлорофилла в процессе зеленения ячменя, повышает устойчивость последнего к разрушению в темноте и увеличивает прочность комплекса хлорофилла с белком на свету. У кобальта была выявлена еще одна интересная особенность — это ускорение прохождения световой стадии, например, у длиннодневных растений овса. Была установлена зависимость между увеличением содержания хлорофилла в листьях растений под влиянием кобальта и повышением содержания сахаров, которые в свою очередь увеличивали процесс фотосинтеза.

Данных об участии кобальта в нуклеиновом обмене и в биосинтезе белка накоплено немного. Тем не менее имеются сведения о повышении содержания белка под влиянием кобальта у бобовых и небобовых культур. При добавлении, например, кобальта в питательный раствор для овса было найдено в нем увеличение содержания белкового азота в 1,5 раза, а аминного в 4,0 раза по сравнению с контрольным образцом без кобальта. Основная физиолого-биохимическая роль кобальта, как и других микроэлементов, заключается в повышении ак-

тивности различных ферментов, являющихся своеобразными катализаторами многих процессов в растительных организмах. Рассмотрим влияние кобальта на активность некоторых уже известных нам ферментов.

Процесс восстановления в растениях нитратов до нитритов осуществляется с участием фермента нитратредуктазы. В настоящее время имеется целый ряд сведений о влиянии кобальта на активность нитратредуктазы. Например, применяя 0,01% — 0,1-процентные растворы сульфата кобальта, удалось соответственно повысить и понизить активность нитратредуктазы, причем увеличение активности фермента отмечено в утренние и дневные часы, в то время как в вечерние часы зафиксировано снижение его активности. Кобальт, как медь и молибден, оказывает определенное действие на активность гидрогеназы в клубеньках бобовых культур.

Гидрогеназа — это фермент, благодаря которому осуществляется активация водорода, играющего важную роль в процессах фиксации молекулярного азота всеми азотофиксирующими микроорганизмами. Активность гидрогеназы в клубеньках бобовых культур была показана сравнительно недавно, всего лишь 35 лет назад. Тогда это посчитали за парадоксальный факт, авторам не удалось подтвердить ими же полученные результаты. Позднее, примерно в середине 50-х годов, когда были разработаны более совершенные методы исследования, этими методами в клубеньках сои обнаружены спектральные пики в присутствии водорода, по которым можно судить об активности гидрогеназы. В 1957 г. было впервые получено прямое доказательство наличия гидрогеназы в целом клубеньке сои, выращенном в естественных условиях. Впоследствии выяснилось, что действие кобальта на активность гидрогеназы больше всего проявляется в бактероидах, чем в клубеньковой ткани бобовых культур. Эта разница оказалась значительной — почти в 14 раз.

Фиксация молекулярного азота и активация гидрогеназы больше всего проявляются именно в бактероидных бобовых культурах. Это, вероятно, не случайное совпадение, а скорее связывающее звено в общей схеме симбиотической азотофиксации. Однако много еще остается не ясным. И прежде всего то, что из клубеньков бобовых культур пока не выделены компоненты азото-

фиксирующих систем и не определено место участия гидрогеназы в симбиотической азотофиксации.

Итак, кобальт, повышая активность некоторых ферментов, играет важную общебиологическую роль в жизни растений. Одним из наиболее удивительных фактов является участие кобальта в витамине B_{12}, находящемся в клубеньках бобовых культур (где осуществляется процесс симбиотической фиксации) и не обнаруженном в растениях. В 1961 г. Ахмед и Эванс нашли в клубеньках сои витамин B_{12} и показали, что его количество зависит от содержания кобальта в питательной среде. Это навело на мысль, что кобальт играет важную роль в обмене веществ клубеньков бобовых культур, связан с витамином B_{12} и симбиотической фиксацией азота.

Витамин B_{12} выполняет очень важные функции в животном организме, являясь мощным фактором кроветворения. Впервые открытый и выделенный Риксом в 1948 г. витамин B_{12} оказался кобальтпептидным комплексом, который содержит в своем центре 4,5% кобальта и имеет следующий элементарный состав: $C_{63}H_{97}N_{14}O_{20}PCo$. В природе биосинтез витамина B_{12} осуществляется только микроорганизмами и в значительных количествах витамин находится в почвах, богатых органическими веществами. Факты, подтверждающие влияние кобальта на азотофиксацию,— действие витамина B_{12} на этот процесс и большое количество кобальта, сосредоточенное в клубеньках бобовых культур.

Специфическое действие кобальта на азотофиксацию заключается в его участии в витамине B_{12} и в кобамидных коферментах (коэнзимах) — усложненной форме витамина B_{12}. Сложные белки состоят из белка и небелковых компонентов — активной группы. Поскольку прочность этой группы с белком неодинакова, то она может отделяться от белковой части и вступать во временную связь с другими белками. Такие активные (простетические) группы и называют коферментами.

Теперь абсолютно ясно, что кобальт необходим для синтеза ряда кобамидных коэнзимов в клубеньках и свободноживущих азотофиксирующих бактериях. Клубеньки различных бобовых культур содержат от 0,3 до 1,07 мг кобальта на 1 г сухого вещества клубенька. Установлено, что под влиянием кобальта значительно увеличивается интенсивность фиксации молекулярного азота

в клубеньках бобовых культур. Положительное влияние кобамидных коэнзимов на азотофиксацию объясняется, видимо, их действием на биосинтез розового пигмента. Н. Кубо своими исследованиями в 1939 г. показал, что корневые клубеньки бобовых растений содержат такой пигмент. По своим свойствам он оказался подобен гемоглобину крови животных и человека. В связи с этим пигмент называется легоглобином. Присутствие легоглобина в клубеньках бобовых культур, активно участвующих в азотофиксации, привело к мысли о возможном участии этого пигмента в процессах фиксации атмосферного азота.

В середине 50-х и начале 60-х годов (1954—1960 гг.) появились работы, показавшие влияние кобальта на увеличение содержания легоглобина в клубеньках бобовых растений. Например, при дозировке кобальта в питательной среде с недостатком этого элемента наблюдалось увеличение концентрации легоглобина в клубеньках и усиление роста люпина в условиях длинного дня, однако такого влияния на образование клубеньков и содержание пигмента не было обнаружено в условиях недостатка углеводов при коротком световом дне.

Можно предполагать, что молекулярный азот способен образовывать устойчивые комплексы с легоглобином, который в свою очередь принимает косвенное участие в активации молекулярного азота. Не исключено также, что функции этого пигмента в клубеньках связаны с биохимическим механизмом, обеспечивающим приток кислорода, необходимого для дыхания клубеньковых бактерий и для выработки АТФ (аденозинтрифосфата) — источника энергии. Возможно, что легоглобин участвует также в другом биохимическом механизме, защищающем всю азотоактивирующую систему бактероидов от избытка кислорода. Как видим, роль кобальта в процессах азотофиксации очевидна.

Мы рассмотрели микроэлементы, которые необходимы для нормального роста и развития растений и имеют важное значение в практике сельского хозяйства.

Кроме них, известно много элементов (никель, ванадий, литий, рубидий, иод и др.), которые по своим свойствам и воздействию на растения близки к микроэлементам, перечисленным в данной главе. Но эти элементы мало изучены, поэтому они не нашли применения.

МИКРОУДОБРЕНИЯ

Для получения высоких устойчивых урожаев необходимо вносить в почву не только такие удобрения, как азотные, калийные, фосфорные, но и микроудобрения, содержащие в небольших количествах бор, марганец, медь, цинк, молибден и др., без этих элементов растения не могут нормально развиваться. При возделывании таких ценных сельскохозяйственных культур, как сахарная свекла, кукуруза, горох, кормовые бобы и др., применение микроудобрений становится первой необходимостью и приобретает особое значение.

БОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Содержание бора в различных почвах неодинаковое, так как он выносится из почв с урожаем сельскохозяйственных культур.

На первом месте по выносу бора из почвы стоит сахарная свекла, затем следуют кормовые корнеплоды, картофель, овощные и плодово-ягодные культуры. Лен и конопля занимают промежуточное положение, а злаковым зерновым культурам принадлежит последнее место. Для восполнения этих потерь, получения дополнительной прибавки урожая и улучшения его качества необходимо вносить в определенных дозах борные удобрения.

Борные удобрения применяют как концентрированные, так и малоконцентрированные.

Борная кислота и бура содержат соответственно 17 и 11% бора. Борную кислоту H_3BO_3 и буру $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ используют в основном для предпосевной обработки семян, для чего готовят 0,05-процентные растворы этих удобрений на 1 ц семян.

Борат магния $MgB_2O_4 \cdot 3H_2O$ содержит 1,5—1,8% бора и 19—20% магния. Борат магния часто называют осажденным, его получают из минералов ашарита $2MgO \cdot B_2O_3 \cdot H_2O$, улексита $NaCl \cdot B_5O_9 \cdot 8H_2O$, гидроборацита $CaO \cdot MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 6H_2O$, обрабатывая их серной кислотой при 80—95° С. Затем образовавшийся раствор охлаждают и из него выделяют основной продукт — борную кислоту. Но всю борную кислоту осаждением выделить не удается. Часть ее (1,3—1,6%) остается в маточном растворе, в котором содержится 21—23% сульфата магния. Если этот раствор нагреть и обработать оксидом магния, то получается осадок, который можно отфильтровать, высушить и измельчить до 2 мм. Это и будет осажденный борат магния. Он плохо растворяется в воде и непригоден для внекорневой подкормки растений и предпосевной обработки семян. Но осажденный борат магния хорошо усваивается корневой системой растений и по эффективности воздействия не уступает растворимым в воде формам удобрений (не вымывается из почвы, не создает высоких концентраций подвижного бора). Поэтому его вносят в почву как отдельно, так и в смеси с другими минеральными удобрениями; в дозах 75 кг на 1 га применяется под посевы льна, бобовых культур, сахарной свеклы, кормовых корнеплодов, плодово-ягодных и овощных культур.

Борнодатолитовое удобрение имеет в своем составе от 1,5 до 2,3% бора, а также гипс и кремневую кислоту. Это удобрение хорошо растворяется в воде, что и обусловливает его преимущество. Борнодатолитовое удобрение получается путем воздействия серной кислоты на сырую породу датолита $2CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$. При этом на 100 кг этой породы требуется 55—58 кг кислоты.

Борнодатолитовое удобрение, являясь водорастворимой формой борного удобрения, наиболее эффективно в применении на почвах, имеющих низкое содержание усвояемого бора, т. е. на дерново-подзолистых, торфянистых и др. Это удобрение вносят в почву под культуры.

Борный суперфосфат может быть двойным и простым. Первый из них содержит 6—8% борной кислоты и 36% оксида P_2O_5, а второй — 1—2% борной кислоты и 15—18% оксида фосфора. Двойной борный суперфосфат получают при реакции датолита и фосфорита

с фосфорной кислотой. Простой борный суперфосфат образуется при смешивании борного удобрения с суперфосфатом. Боратовая мука, представляющая собой в размолотом виде боратовую руду $MgCaB_6O_{11} \cdot 6H_2O$ в виде кристаллических глыб, содержащих в среднем 8% водорастворимого бора, оказалась на первом месте среди рассмотренных борных удобрений по эффективности ее использования. Высокие показатели боратовой муки как удобрения объясняются дополнительным действием магния, входящего в его состав.

Бор содержится также в органических удобрениях и золе. Например, при внесении в почву 40 т навоза или 40 т торфа на 1 га растения получают 0,2—0,3 кг бора, а с 6—7 ц золы на 1 га пашни вносится 0,2—0,25 кг бора. Дозы бора определяются особенностью культуры и способом внесения бора. В предпосевном периоде в почву борные удобрения вносят из расчета от 0,5 до 1,0 кг элемента бора на 1 га.

В случае применения внекорневой подкормки (опрыскивание) растений растворами борной кислоты, буры, содержащих 0,015—0,1% бора, его расход при внесении в качестве удобрения в почву сокращается в несколько раз. Еще больше можно сократить расход бора, если применять предпосевное намачивание семян этими растворами. Небезынтересно привести и дозы применения борных удобрений в этих условиях. Например, при внекорневой подкормке растений методом их опрыскивания употребляют борное удобрение, содержащее 200—250 мг бора на 1 л раствора. За 1—2 приема на 1 га вносят примерно 1 $м^3$ такого раствора. Еще меньше применяется борных удобрений при опыливании растений. При этом достаточно примерно всего 500 г бора на 1 га. В любом случае не надо забывать, что внекорневая подкормка растений производится в вечернее время.

Теперь остановимся на предпосевной обработке семян растворами, содержащими соединения бора. Достаточно применить 8—10 л такого раствора на 1 ц семян, чтобы получить эффективный результат. Семена обычно смачиваются один раз и только семена льна два раза, причем доза раствора, применяемого на 1 ц семян, уменьшается примерно вдвое и составляет 4—5 л. Содержание бора в растворе, применяемом для предпосевной обработки семян, зависит от культур, которые подвергаются

обработке. Для льна используют 0,05-процентный раствор борной кислоты, для семян, корнеплодов и бобовых культур — 0,0005—0,015-процентные растворы, а для овощных и зерновых культур — 0,01—0,03-процентные.

Борные удобрения, повышающие не только количество, но и качество урожая (увеличивается сахаристость свеклы, улучшается качество льняного волокна, повышается содержание сахаров и витаминов в урожае плодово-ягодных и овощных культур и т. д.), необходимо широко использовать в практике сельского хозяйства. Прежде всего следует вносить борные удобрения под лен, кукурузу, кормовую и сахарную свеклу, картофель, клевер, люцерну, бобовые, плодовые, ягодные и овощные культуры. Высокая эффективность борных удобрений отмечена также для конопли, подсолнечника, горчицы, вики, эфирномасличных и др. От применения борных удобрений повышается устойчивость к неблагоприятным метеорологическим условиям как во время развития растений, так и в период последующего хранения урожая.

Лен быстро реагирует на внесение борных удобрений. Это не только предохраняет его от заболевания бактериозом, но и повышает урожайность, а также качество волокна и семян. На дерново-глеевых почвах при внесении 3 кг буры на 1 га пахотной земли урожайность длинного волокна льна вырастает на 1,5 ц с 1 га, а урожай семян — на 1,5—2,0 ц с 1 га.

Из злаковых растений наибольшей чувствительностью на применение борных удобрений обладает кукуруза. Основным удобрением является борнодатолитовое, которое используется как для предпосевной обработки семян, так и для внесения в почву. При опрыскивании на 1 ц семян обычно используют 1—2 кг удобрения, при внекорневой подкормке применяют 10—12 кг на 1 га пашни, а в почву вносят до 60 кг борнодатолитового удобрения или 75 кг бората магния на 1 га.

Другие злаковые культуры, как, например, пшеница, рожь, ячмень, овес, испытывают небольшую потребность в боре. Им обычно бывает достаточно тех запасов, которые находятся в почве.

Но в условиях засушливой погоды предпосевная обработка семян бывает нелишним мероприятием и способствует повышению урожайности этих культур. Так, при обработке ячменя борной кислотой из расчета 100—

200 г на 1 ц семян урожай зерна этой культуры повышается более чем на 10%.

На коноплю борные удобрения также положительно действуют. Если в торфяную почву внести 1,5 кг борнодатолитового удобрения, то можно получить прибавку урожая конопли до 13 ц с 1 га.

Хлопчатник очень хорошо реагирует на внесение борных удобрений. Например, внесение бормагниевого удобрения в количестве 40 кг на 1 га пашни повышает урожайность хлопчатника на 10,5 ц с 1 га, или на 45,4%, а внекорневая подкормка хлопчатника 0,05-процентным раствором буры или борной кислоты дает еще прибавку урожая на 14%. Борные удобрения благоприятно влияют на рост хлопчатника, увеличивают количество бутонов, уменьшают опадение завязей, повышают количество коробочек на кусте и на несколько дней ускоряют их созревание, увеличивая также масличность культуры на 1%.

Клевер и люцерна очень отзывчивы на борные удобрения. Хорошая прибавка урожая клевера (более чем на 30%) получается при опыливании семенников растений мелко измельченной бурой из расчета 3 кг удобрения на 1 га бормагниевого удобрения (в количестве 20—25 кг на 1 га). Также значительную прибавку урожая (до 30%) получают при опрыскивании клевера борными удобрениями. На 1 га пашни в этом случае надо израсходовать 300—400 л воды, в которой необходимо растворить 0,25—1,0 кг борной кислоты, или 0,5—1,2 кг буры, или 5—10 кг бормагниевого удобрения.

Люцерна еще сильнее реагирует на применение борных удобрений. В среднем от их применения получают прибавку урожая до 0,7—1 ц с 1 га.

Борные удобрения способствуют увеличению сахаристости корнеплодов сахарной свеклы, сохраняют ее от заболевания гнилью сердечка. Например, борная кислота, вносимая в пахотную землю от 1 до 2 кг на 1 га, повышает урожай сахарной свеклы с 44,3 до 66,0 ц на 1 га, а сахаристость увеличивается на 2%. Борнодатолитовое удобрение, особенно в сочетании с молибденом, повышает урожай зерна гороха и кормовых бобов на 2,5—3,0 ц с 1 га, при этом в почву вносят 60 кг удобрения на 1 га пашни. На опрыскивание 1 ц семян расходуют 1—2 кг этого же удобрения, что дает прибавку к урожаю до 30%.

Картофель лучше удобрять борнодатолитовой подкормкой из расчета 10—12 кг на 1 га пашни. Борные удобрения хорошо влияют на урожай овощных культур. Например, при внесении в почву 2 кг бора можно повысить урожай помидоров на 32—40%. Эти удобрения способствуют увеличению урожая семян белокочанной капусты на 5,4 ц с 1 га и столовой свеклы на 4,2 ц с 1 га.

Яблоня, черешня, смородина, малина, крыжовник и другие плодовые и ягодные культуры дают значительные прибавки урожая от борных удобрений. Так, например, на 11 кг с дерева увеличивается урожай антоновки и на 700 г с куста крыжовника.

Для большинства культур оптимальной дозой бора на 1 га пахотной земли является 0,5—2,0 кг (в частности, для клевера и люцерны 0,5—1,0 кг на 1 га, для кормовой свеклы и турнепса 2,0—3,0 кг на 1 га). Вносить борные удобрения можно совместно с азотными, фосфорными и калийными, при этом их нужно тщательно перемешивать перед внесением в почву. Известно, что такие естественные удобрения, как навоз, торф, древесная зола, содержат бор, который и поступает в почву с внесением этих удобрений. Если борные удобрения вносят вне смеси с другими компонентами, то в этом случае надо помнить о необходимости равномерного распределения их по всей посевной площади, не оставляя неудобренные или слишком удобренные участки. Наиболее чувствительны к повышенным количествам борных удобрений земляника, вишня, лимон, виноград, люпин, фасоль. Многолетние исследования показали, что наиболее эффективно применять борные удобрения на подзолистых почвах, причем их эффективность увеличивается при известковании этих почв.

МАРГАНЦОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

В нашей стране марганцовые удобрения начали изучаться раньше, чем другие микроудобрения. Ученых интересовал также вопрос о роли марганцовых и других отходов металлургической промышленности в повышении урожайности сельскохозяйственных культур.

Марганцовые отходы в промышленности в качестве удобрений были применены русским агрохимиком

П. А. Власюком на площади в 52 тыс. га. Эти испытания показали большое влияние марганцовых отходов на повышение урожайности сахарной свеклы, пшеницы, кукурузы, проса, овса, ячменя, картофеля, табака, конопли, хлопчатника, капусты, огурцов, томатов, земляники. Например, при внесении различных доз марганцовых отходов в подзолистые почвы была получена средняя прибавка урожая сахарной свеклы по 14—21 ц с 1 га, увеличилась также ее сахаристость на 0,1—0,3%. Прибавка урожая сахарной свеклы от действия марганцовых удобрений приравнивалась П. А. Власюком к действию таких удобрений, как азот, фосфор, калий.

Особенная ценность марганцовых отходов как удобрений состоит в том, что они используются растениями постепенно, а действие их более эффективно, чем чистых марганцовых солей.

Марганцовые отходы многих промышленных предприятий нашли теперь применение в сельскохозяйственном производстве. Рассмотрим их подробнее.

Марганцовый шлам. В сельском хозяйстве целесообразно использовать марганцовый шлам, имеющий в своем составе 10—14% оксида марганца, 14—15% влаги и не более 4% щелочи. Запасы этих шламов в нашей стране весьма значительны. Помимо марганцового шлама, как удобрение может применяться и ферромарганцовый шлам, содержащий до 32% марганца.

Средняя доза внесения марганцового шлама как удобрения под сахарную свеклу, пшеницу, кукурузу, овощные и другие культуры на слабовыщелоченных черноземах, серых лесных, каштановых и некоторых других почвах, где содержание усвояемого растениями марганца невелико, составляет от 0,5 до 3,0 ц на 1 га пашни.

Сульфат марганца является составной частью марганцовых отходов сернокислотной промышленности. Эти отходы содержат 76,6—85% сульфата марганца $MnSO_4$, 10—14% сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$, около 1% других микроэлементов (кобальта, никеля, железа и др.) и приблизительно 0,5% нерастворимого осадка. Важно отметить, что в сульфате марганца содержится 21—22% марганца. Такое высокое содержание марганца в отходах позволяет при незначительном внесении их в почву (10—15 кг на 1 га) получать значительные прибавки к урожаю. Таким образом, сульфат марганца яв-

ляется более экономичным удобрением по сравнению с марганцовым шламом.

Марганцовый суперфосфат. Это еще один вид марганцового удобрения, которое так и называют фосфорно-марганцовым удобрением. Марганцовый суперфосфат получается, если к обычному суперфосфату перед его грануляцией добавить марганцового шлама, содержащего 15—18% марганца. Полученный таким способом продукт содержит от 15 до 18% оксида фосфора и 1,5—3,0% марганца. Это удобрение вносят в пахотную землю в том случае, если у растений имеется потребность в марганце и фосфоре. Дозы марганцового суперфосфата составляют 0,5—2,0 ц на 1 га пашни.

Можно отметить, что результат от применения марганцовых удобрений в различных почвенно-климатических зонах страны неодинаков. Так, в северных, неизвесткованных дерново-подзолистых и других кислых почвах содержится большое количество марганца, поэтому применение на этих почвах марганцовых удобрений нецелесообразно, так как оно может привести к отрицательным последствиям на урожай. В то же время на опыте многих хозяйств доказано, что внесение марганцовых удобрений на известковых дерново-подзолистых почвах может быть вполне эффективным.

В настоящее время марганцовые удобрения широко используются в практике сельскохозяйственного производства нашей страны.

У нас накоплен большой опыт в применении марганцовых удобрений под сахарную свеклу. Они не только повышают урожай корнеплодов сахарной свеклы на 14—21 ц с 1 га, но и увеличивают их сахаристость на 0,11—0,33%. Прибавка урожая кукурузы составляет до 2,0 ц с 1 га. Достаточно эффективным методом является предпосевная обработка семян кукурузы слабым раствором сульфата марганца.

Марганцовые удобрения способствуют увеличению урожая хлопчатника в среднем до 3,0 ц с 1 га. Однако предпосевное внесение микроэлемента в почву менее эффективно, чем подкормка растений. Для внекорневой подкормки применяют 0,05—0,1-процентный раствор сульфата марганца из расчета 2 кг на 1 га. При этом прибавка урожая составляет 7,7 ц с 1 га, или на 18,5—21,9%. Хорошие результаты повышения урожайности

хлопчатника (она возрастает на 9—12%) получают от предпосевного замачивания семян в 0,05%-процентном растворе сульфата марганца.

Урожай озимой пшеницы при внесении в почву марганцового удобрения может быть повышен в среднем до 3,2 ц, яровой — до 2,2 ц, ячменя — до 3,0 ц с 1 га.

При возделывании льна марганцовые удобрения оказывают положительное влияние только на нейтральных почвах. На кислых дерново-подзолистых почвах эти удобрения применяют только после известкования.

От внесения марганцовых удобрений в почву кормовой люпин дает прибавки урожая зерна на 1,3 ц с 1 га. Несколько выше (до 2,0 ц с 1 га) наблюдалось повышение урожайности при внекорневой подкормке люпина 0,05-процентным раствором сульфата марганца.

Положительное действие оказывают марганцовые удобрения на овощные культуры. Предпосевное замачивание семян помидоров в 1-процентном растворе сульфата марганца увеличивает урожай плодов на 10—24% с улучшением их качества. Внекорневая подкормка растения 0,05-процентным раствором сульфата марганца позволяет повысить урожай плодов на 10—11 ц с 1 га.

Марганцовые удобрения находят свое эффективное применение в садах и ягодниках. При их закладке целесообразно использовать эти удобрения из расчета 2—3 ц марганцового шлама на 1 га посадок. В период роста и развития сада и ягодника необходима внекорневая подкормка, особенно земляники, 0,05-процентным раствором сульфата марганца.

МЕДНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Значительным стимулом в изучении медных удобрений послужило массовое осушение болот и освоение их под сельскохозяйственные культуры. В торфяных и заболоченных почвах количество меди незначительно и содержится она в малодоступных формах. Естественно, первые попытки выращивать яровую пшеницу и ячмень на осушенных торфяниках окончились неудачами. Тогда же в колхозах и совхозах Белорусской ССР, где особенно широко был развернут фронт мелиорационных работ, применили на значительных площадях пиритные огарки — отходы сернокислотной и частично бумажной

промышленности, содержащие 0,3—0,8% меди. Урожай зерновых культур при этом увеличился до 30—35 ц на 1 га. С тех пор пиритные огарки на торфяных почвах стали основным видом удобрений.

Пиритные (колчеданные) огарки получаются на сернокислотных заводах при обжиге пирита FeS_2 (600—700 °C) в токе воздуха. Основная составная часть пиритного огарка — железо, но, кроме этого, имеется медь (0,3—0,7%), а также небольшое количество цинка, кобальта, молибдена и других микроэлементов.

Медный купорос $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ содержит 25,4% меди. Его светло-голубые кристаллы (медного купороса) хорошо растворимы в воде. Но это удобрение дорого и дефицитно, хотя содержание меди в нем в 2—3 раза выше, чем в пиритном огарке.

Проведенные сравнения получаемых результатов урожая сельскохозяйственных культур от применения этих двух видов удобрений показывают, что пиритные огарки, внесенные в определенной дозе, нисколько не уступают медному купоросу (табл. 19).

Таблица 19

Влияние медных удобрений на урожай ячменя

Название удобрения	Урожай зерна, ц/га
Фосфорное, калийное (без меди)	0,8—13,4
Фосфорное, калийное, медный купорос (25 кг/га)	21,3—25,8
Фосфорное, калийное, пиритные огарки (600 кг/га) . .	21,4—26,7

Наряду с пиритным огарком и сульфатом меди в качестве медных удобрений могут с успехом использоваться нитрат меди, хлориды меди, карбонат меди, оксид меди, а также различные медные руды.

В почву пиритные огарки вносят один раз в 4—5 лет по 5—7 ц на 1 га. При использовании такого количества пирита урожай увеличивается в 2—5 раз по сравнению с участками пахотной земли, где медь не вносили. Результаты бывают наиболее значительными на второй или третий год после внесения пиритных огарков в поч-

ву. В целях повышения эффективности применения пиритных огарков необходимо вносить их заблаговременно. В этом случае медные соли, содержащиеся в пирите, оказывают положительное действие на микрофлору пахотного слоя торфяника и соответственно на урожай. Под яровые культуры пиритные огарки рекомендуется использовать осенью (при обработке почвы под зябь) или ранней весной (за 15—25 дней до посева). Если пиритные огарки применяют осенью, когда проводят сев, то увеличение прибавки урожая обеспечено. Пиритные огарки можно вносить и весной. Опыты показывают, что внесение удобрения за 7 дней до посева повышает урожай зерна на 28,4%, а за 15 дней до посева — на 35,8% по сравнению с урожаем, получаемым в случае внесения пиритных огарков в день посева.

Избыточное количество медных удобрений не сказывается отрицательно (как в случае с бором) на урожае, а, наоборот, действует благоприятно. Это возможно потому, что в пиритных огарках имеются и другие микроэлементы. Эффективность этих удобрений (впрочем, как и других микроэлементов) проявляется лишь в том случае, если растения имеют в достаточном количестве все основные питательные элементы: азот, фосфор и калий. Потребность сельскохозяйственных культур в медных удобрениях неодинакова. Например, яровая и озимая пшеница, ячмень, белые сорта овса, просо, конопля, сахарная свекла, кормовые корнеплоды очень хорошо реагируют на медные удобрения, а озимая и яровая рожь, черные сорта овса, картофель, капуста значительно хуже.

Медные удобрения в почве улучшают качество сельскохозяйственных культур: увеличивается крепость волокна, повышается содержание сахаров, жиров, белков и витаминов.

Известно, что удобрения, содержащие медь, обладают удивительной способностью защищать сельскохозяйственные культуры от неблагоприятных условий внешней среды — от высоких и низких температур, вырабатывать в растениях устойчивость против различных заболеваний, увеличивать срок хранения получаемых плодов. При этом значительно повышается морозоустойчивость пшениц, томатов, цитрусовых. В растениях по мере продвижения их к северу найдено повышенное со-

держание меди. Например, в растениях Якутии меди больше, чем в других районах страны. Медные удобрения, как показала практика, снижают также заболевания пшеницы, ржи, овса, ячменя от различных видов головни, а также способствуют накоплению азота в листьях растений и препятствуют его оттоку. Высокая эффективность медных удобрений достигается не только внесением их в почву, но и подкормкой растений во время их роста и предпосевной обработки семян. Расход удобрений в этих случаях значительно меньше. Например, при внекорневой подкормке на 1 га пашни необходимо затратить всего от 600 до 1000 л раствора медного купороса 0,02—0,05-процентной концентрации, а на 1 ц семян — 8—10 л удобрения, для предпосевной обработки семян требуется более разбавленный раствор этой соли — 0,001—0,005-процентной концентрации. Обработка длится 6—12 ч.

Зерновые культуры (яровая и озимая пшеница, ячмень и овес) хорошо реагируют на применение медных удобрений. Если внести в почву 4—5 ц на 1 га пиритных огарков, содержащих медь, то можно полностью удовлетворить зерновые культуры в этом виде удобрений и обеспечить высокий урожай зерна. Например, прибавка к урожаю зерна яровой пшеницы составила 6—14 ц с 1 га, ячменя — 9—13 ц с 1 га, овса — 4—12 ц с 1 га.

Кукуруза также быстро реагирует на соединения, содержащие медь. Особенно это относится к нечерноземной полосе СССР. Применение этих удобрений способствует ускоренному созреванию кукурузы и быстрейшему образованию початков молочно-восковой спелости. Максимальные прибавки урожая дает и эта культура на торфяной почве (85%) и на дерново-подзолистой (88%).

На лен и коноплю медные удобрения оказывают особенно хорошее воздействие на торфяных и болотных почвах. Средний прирост урожая этих культур от применения пиритных огарков и медного купороса составляет для льна до 20—36%, для конопли урожай может увеличиться в 2—3 раза.

На хлопчатник хорошо действует 0,1—0,05-процентный раствор $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, как внесенный в почву, так и при внекорневой подкормке. При этом урожай хлопка соответственно повышается до 22 и 38%.

Многие овощные культуры хорошо реагируют на внесение удобрений, содержащих медь. Под сахарную свек-

лу их целесообразнее применять дифференцированно. Например, на дерново-карбонатных почвах, где содержится достаточное количество меди, пиритные огарки не способствуют увеличению урожая сахарной свеклы. Но там, где медных удобрений действительно недостает, в частности на торфяно-болотных, дерново-подзолистых и каштановых почвах, от применения этих удобрений можно получить существенные прибавки к урожаю — до 21—45 ц с 1 га, при увеличении сахаристости на 0,3—0,4%. Очень перспективно повышение урожая сахарной свеклы (160 ц с 1 га) от обработки ее семян 0,1-процентным раствором медного купороса. На картофель благотворно сказывается внекорневая подкормка раствором медного купороса, приготовленного из расчета 0,5 г меди на 1 л воды. При этом количество клубней увеличивается на 17%, а их масса возрастает на 50%. Внесение пиритных огарков в количестве 2 ц на 1 га также дает хорошее повышение урожая картофеля — до 47 ц с 1 га. Достаточно провести предпосевную обработку семян помидоров 0,02-процентным раствором медного купороса, и урожай помидоров увеличивается в 3 раза. Применяя внекорневую подкормку помидоров этим раствором, можно ускорить созревание плодов на 5 дней и получить прибавку урожая до 18—40%. При этом плоды имеют больше сухого вещества и сахара. Внекорневая подкормка моркови раствором медного купороса повышает урожай корней моркови до 23%. Благоприятно сказывается влияние меди и на урожай огурцов. Если замачивать семена в растворе медного купороса, то можно удлинить период плодоношения огурцов и получить плоды значительно больших размеров.

Положительное действие оказывают медные удобрения на плодовые и ягодные культуры. Особенно чувствительна к ним садовая груша. Хорошие результаты получаются от опрыскивания плодовых и ягодных культур 0,02—0,03-процентным раствором, содержащим медь. Урожай ягод земляники, например, увеличивается до 94%. Яблони и груши при внекорневом питании 0,5-процентным раствором медного купороса не заболевают экзантемой и суховершинностью.

Медные удобрения могут оказать неоценимую услугу лугам и пастбищам. Их плодотворное влияние особенно сказывается на торфяно-болотных и дерново-гле-

евых почвах. Применение медных удобрений позволяет увеличить питательную ценность кормов для скота. Ведь медные подкормки довольно широко применяют в животноводстве.

Подкормка лугов медным купоросом повышает урожай сена до 35%. Ученые считают, что в сене меди должно быть не меньше чем 4,4 мг на 1 кг. На почвах, богатых медью, сено имеет большое количество этого микроэлемента, поэтому более полноценно. Травы лугов и пастбищ с высоким содержанием меди могут излечивать животных от некоторых заболеваний.

ЦИНКОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Первые исследования по эффективности применения цинковых удобрений в нашей стране были предприняты еще в 30-х годах агрохимиками П. А. Власюком и И. К. Онищенко, изучавшими положительное влияние хлорцинковой грязи (отход промышленности) на урожаи сахарной свеклы. Эффективность цинковых удобрений зависит прежде всего от обеспеченности растений основными элементами питания — азотом, фосфором и калием. Только нормальные количества азотных и фосфорных солей позволяют вводить оптимальные дозы цинковых удобрений в почву под различные сельскохозяйственные культуры.

В качестве цинковых удобрений могут быть использованы водорастворимые соли цинка — сульфат цинка, карбонат цинка, а также оксид цинка и цинкосодержащие рудные фритты, которые можно получить из отходов промышленности.

Остановимся несколько подробнее на некоторых из этих удобрений.

Сульфат цинка $ZnSO_4$ — белая кристаллическая соль, растворимая в воде. Она может быть безводной с содержанием цинка до 45,5% и иметь в своем составе кристаллизационную воду $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (цинковый купорос). Для предпосевной обработки семян применяют обычно 0,05—0,1-процентный раствор сульфата цинка из расчета 6—8 л на 1 ц семян. При внекорневой подкормке применяют 0,01—0,02-процентный раствор этой соли в количестве 200—400 л на 1 га.

Цинксодержащие молотые шлаки медеплавильных заводов, помимо цинка (2—7%), в своем составе имеют также небольшое количество других микроэлементов: меди — 0,41%, марганца — 0,018%, кобальта — 0,001%, молибдена — 0,005%, железа — 33,28%. Такие шлаки вносят в почву из расчета 0,5—1,5 ц на 1 га. Если их тонко размолоть и превратить в пыль, то можно использовать для предпосевного опыливания семян в количествах 200—400 г на 1 ц семян.

Цинковые полимикроудобрения (ПМУ) являются шлаковыми отходами химических заводов и содержат 21,7% Zn, 1,23% MgO, 3,2% CaO, 39,0% SiO_2, 26,5% Fe_2O_3, а также небольшие количества соединений марганца, меди и бора. Предпосевная обработка семян этим удобрением осуществляется из расчета 4 кг на 1 т семян.

Цинковые фритты представляют собой смесь 19% ZnO, 59,1% SiO_2, 18,6% Na_2O, 3,2% CaO. Применение их на ягодниках способствует значительному (до 85%) увеличению урожая. От внесения этих удобрений значительно увеличивается прирост веток яблонь. Предпосевную обработку семян кукурузы можно проводить тонко измельченными цинковыми фриттами — 4 кг удобрения на 1 т семян. Значительные количества цинка можно внести в почву вместе с известковыми материалами, простым суперфосфатом, навозом и золой. Интересно привести такой пример: с 20 т навоза при его влажности 80% в почву поступает около 300—400 г цинка на 1 га пахотной земли.

В настоящее время осуществляется разработка органических комплексов цинка на основе полиаминкарбоновых кислот. Такие комплексные соединения получили название хелатов, среди которых можно выделить этилендиаминтетрауксусную кислоту (сокращенно ЭДТА). Целесообразнее всего хелаты использовать в щелочной среде, в которой железо связывается в гидроксид и поэтому не способно конкурировать с цинком за комплексирующий элемент. На практике было показано, что хелаты положительно влияют на урожай персиков и вишен. Наибольший эффект от сульфата цинка получается при внесении удобрения под пшеницу. Роль этого элемента здесь более значительна, чем других микроэлементов. В чем же заключается положительное действие

цинка на урожайность пшеницы? Оказывается, при введении цинковых удобрений увеличивается продуктивность кущения пшеницы и возрастает число колосьев на единицу площади — увеличивается абсолютная масса семян. Значительную прибавку к урожаю пшеницы в 4—5 ц на 1 га получают при внесении в пахотную землю сравнительно больших доз сульфата цинка — около 5 кг на 1 га почвы. Еще большее количество $ZnSO_4$ (более чем в 2 раза) применяют для получения повышенных урожаев кукурузы. При внесении этого удобрения под хлопчатник добиваются лучших результатов по сравнению с бором, марганцем и медью.

Проведенные исследования по влиянию сульфата цинка на урожайность томатов показали, что только значительные дозы этого удобрения (4 кг на 1 га почвы) повышают их сбор. При таких условиях с 1 га пахотной площади можно получить около 500 ц плодов томата.

Положительное влияние цинка отмечено во всех вариантах его внесения при выращивании картофеля. Весной наиболее благоприятные условия по увеличению урожайности картофеля создаются при внесении 2—4 кг сульфата цинка на 1 га почвы. В этом случае можно собрать с 1 га до 117 ц картофеля сорта Лорх. При летней посадке достаточно 1—2 кг сульфата цинка, чтобы получить урожайность до 130—150 ц с 1 га.

Отмечено благоприятное действие цинка на урожай винограда и сахаристость его ягод. Урожаи винограда от внесения сульфата цинка увеличиваются на 16—23%, а земляники до 81%. Даже менее отзывчивая на цинксодержащие удобрения, сахарная свекла тоже способна давать до 30% прибавки к урожаю, если в почву добавляют около 4 кг сульфата цинка на 1 га.

Не всегда внесение цинковых удобрений в почву может достигать желаемого эффекта. Это относится даже к тем случаям, когда растения нуждаются в данном удобрении. Цинк наиболее подвижен на кислых почвах. Здесь он скорее поглощается и аккумулируется растениями, что и приводит иногда к недостатку этого элемента на кислых почвах. С повышением pH до 5,6—6 усвояемость его растениями уменьшается, а в щелочной среде, например на почвах, содержащих карбонат кальция, сокращается еще больше. В подобных случаях следует применять другие виды цинковых удобрений.

Наибольший эффект от применения цинкового удобрения достигается в тех случаях, когда это микроудобрение используют при предпосевной обработке семян, и особенно в сочетании с внекорневым питанием растений. Такое сочетание дает увеличение надземной массы урожая красного клевера примерно на 20—30%. Для внекорневой подкормки растений используют 0,01—0,02-процентный раствор сульфата цинка из расчета 800 л на 1 га. Для предпосевной обработки семян различных культур лучше брать 0,03-процентный раствор этой соли в количестве 8 л на 1 ц семян.

Есть еще одна важная особенность цинка. Он повышает устойчивость растений к грибным бактериальным болезням, например повышает стойкость овса, ячменя и озимой ржи к различным видам заболеваний головней. Средняя степень заражения этих культур от применения цинковых удобрений составляет меньше 1%.

МОЛИБДЕНОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Первые опыты, проведенные в лаборатории академика Д. Н. Прянишникова по применению молибденовых удобрений, относятся к началу XX столетия. Особенно широкое развитие научных исследований в этом направлении приходится в нашей стране на период после 1945 г. После более глубокой разработки теории фиксации азота свободноживущими в почве бактериями — азотофиксаторами, когда выяснилось значительное влияние молибдена на эти процессы, молибденовые удобрения начали находить более широкое применение для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, и прежде всего бобовых растений.

К основным молибденовым удобрениям, применяемым в сельском хозяйстве, относятся молибдат аммония, молибденизированный суперфосфат и отходы промышленности.

Молибдат аммония $(NH_4)_2MoO_4$ — белая кристаллическая соль, содержащая 50% молибдена, хорошо растворимая в воде. В большинстве случаев ее используют для предпосевной обработки семян и внекорневого питания растений. Для предпосевной обработки семян применяют следующие дозы молибдата аммония

на 1 ц семян: гороха и вики — 20—25 г, кормовых бобов, люпина, хлопчатника — 30—50 г, клевера, люцерны и овощных культур — 500—600 г, причем эти количества молибдата аммония для обработки 1 ц крупных семян растворяют в 2 л воды, а для обработки того же количества мелких семян — в 5 л воды. Молибдат аммония целесообразно растворять вначале в небольшом количестве горячей воды, а затем доливать до требуемой нормы холодной водой. В случае применения опыливания семян соль $(NH_4)_2MoO_4$ должна быть тщательно высушена и измельчена в мелкий порошок, чтобы обеспечить хорошее прилипание ее к семенам. При внекорневой подкормке различных культур растворяют 100—200 г молибдата аммония в 200—400 л воды. Этого количества достаточно для подкормки растений на площади 1 га.

Молибдат аммония и натрия $(NH_4)_2MoO_4$, Na_2MoO_4 — белая с желтоватым оттенком смесь, содержащая 50% молибдена, хорошо растворимая в воде. Применяют это удобрение для предварительной обработки семян и внекорневого питания растений. При опрыскивании крупносеменных культур используют 30—70 г удобрения на 1 ц, а при опрыскивании мелкосеменных—700—800 г удобрения на 1 ц семян. При внекорневом питании на 1 га расходуют 150—300 г смеси молибдата аммония и натрия.

Молибденизированный суперфосфат, содержащий 0,05—0,2% молибдена и 20% P_2O_5, представляет собой (особенно в гранулированном виде) хорошее удобрение для бобовых и других культур. Такое удачное сочетание молибдена и фосфата очень эффективно, поскольку эти элементы в питании растений хорошо дополняют друг друга. Например, урожай пшеницы и ржи гранулированный суперфосфат повышает до 3,6 ц с 1 га, а молибденизированный суперфосфат — до 7 ц с 1 га. При внесении этого удобрения в почву руководствуются нормой 0,5 ц на 1 га.

Молибденовые удобрения все же дороги, поэтому накопленный опыт применения молибденсодержащих отходов промышленности имеет большое практическое значение. Рассмотрим некоторые из них.

Молибденсодержащие отходы. Шлаки заводов ферросплавов и отходы молибденовых предприятий содержат 0,2—0,6% молибдена. Обычно использу-

ют их для удобрения почвы из расчета 50—60 кг на 1 га. Перед употреблением шлаки и отходы тонко измельчают. Смесь флотохвостов и шлаков на вид представляет собой порошок тонкого помола, молибдена в нем 1—2%. Эту смесь вносят в почву в количестве 50—100 кг на 1 га. Отходы электроламповых заводов в виде порошка бледно-розового цвета, растворимого в воде, содержат 5—6% этого питательного элемента. Их употребляют для предпосевной обработки семян (0,2—0,3 кг на 1 ц семян), внекорневого питания (0,1—0,05% раствора из расчета 2 кг удобрения на 1 га) и внесения в почву (15—20 кг на 1 га).

Шламы от переработки окисленных руд и бедных концентратов — пастообразная масса с большим количеством молибдена (3—8%). Пасту подсушивают и в виде порошка серого цвета используют для предпосевной обработки семян (0,3—0,5 кг на 1 ц) и добавления в почву (12—30 кг на 1 га).

Обычно удобрения, применяемые в сельском хозяйстве (навоз, древесная зола), также содержат соединения молибдена. Среднее содержание их в навозе составляет 2,32—2,37 мг на 1 кг сухого вещества. Подсчитано, что если в почву заложить 20 т навоза с влажностью 75—80%, то это значит внести в нее около 10 г молибдена. В золе растений молибдена до 10 мг на 1 кг сухого вещества, поэтому с 5—6 ц этого удобрения можно внести 5—6 г молибдена на 1 га пахотной земли.

Очень хорошо этот элемент вводить в почву совместно с бором. Это дает больший результат, чем раздельное применение этих удобрений. Наибольший эффект от применения молибденовых удобрений в повышении урожайности отмечен для всех бобовых культур (кормовые бобы, горох, соя, клевер, вика, люцерна), причем самые высокие увеличения урожаев наблюдаются на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, а более низкие — на черноземных почвах. На дерново-подзолистых почвах внесение молибдена давало прибавку к урожаю гороха, люпина и вики почти на 30—34%. Это значит, что с каждого гектара земли было получено дополнительно зеленой массы гороха 52 ц, люпина 66 ц, а семян вики около 8,5 ц. Применение молибденовых удобрений не только увеличивает урожайность, но и повышает абсолютную массу зерна и содержание белка (например, в зерне го-

роха на 2,0—4,5%). Крупносеменные бобовые культуры (горох, вика, соя и др.), содержащие большее количество молибдена в семенах, чем мелкосеменные (клевер, люцерна), требуют менее высоких доз этого элемента.

Эффективность применения молибдена при выращивании небобовых культур (пшеницы, кукурузы, сахарной свеклы, овощных корнеплодов и др.) значительно меньше по сравнению с бобовыми, тем не менее в этих культурах от внесения молибдена в почву наблюдается повышение содержания белка для пшеницы в среднем приблизительно на 2%. Наряду с улучшением качественного состава отмечена и прибавка к урожаю. При внесении 1 кг молибдата аммония на 1 га пашни повышение урожайности зерна составляет для озимой пшеницы 1,8 ц на 1 га; для кукурузы 2 ц на 1 га, а для корней сахарной свеклы до 24 ц на 1 га. Хорошо реагирует на молибденовые удобрения капуста (особенно цветная) и томаты. Урожай головок цветной капусты повышается на 30 ц с 1 га (или на 22%), а кормовой на 58 ц с 1 га (или на 22%).

Из всех способов применения молибденовых удобрений лучшим является предпосевная обработка семян бобовых и небобовых культур. Высевая горох на подзолистых и серых лесных почвах, молибденовые удобрения используют при обработке ими семян, а также вносят их в почву. При предварительной обработке берут раствор молибдата аммония из расчета 25 г молибдена на 1 га посева семян, а при внесении молибденового гранулированного суперфосфата в почву молибден вносят в дозе, соответствующей 50 г молибдена на 1 га пашни.

В обоих случаях получают прибавку урожая. Но при предварительной обработке семян она в 1,5 раза выше, чем при внесении молибдена в почву.

Менее эффективно внесение молибденового суперфосфата в почву под сою по сравнению с предварительной обработкой семян молибдатом аммония, хотя в этом случае берут 50 г молибдена на 1 га вместо 25 г. Метод предварительной обработки семян заключается в том, что перед посевом семена опрыскивают (смачивают) молибденовыми удобрениями. Примерная доза — 25 г молибдена на 1 га почвы. Гакое количество питательного элемента содержится в 50 г молибдата аммония, который растворяют в 2—3 л воды. После обработки семена слегка просушивают. Можно проводить и сухое опудри-

вание семян молибденовыми солями, при этом дозировка молибдена должна быть увеличена в 1,5—2 раза по сравнению с только что рассмотренной мокрой обработкой. Целесообразнее и эффективнее сухое опудривание семян совместить с протравливанием. Например, предпосевное опудривание семян клевера молибдатом аммония позволило получить прибавку урожая до 17,5 ц с 1 га, а особенно благоприятные по погодным условиям года даже до 30—50 ц с 1 га. Применение раствора молибдата аммония для предварительного опрыскивания или намачивания семян дает хорошие результаты увеличения урожайности бобовых культур на дерново-подзолистых почвах: гороха — на 2,1 ц с 1 га (или 17%), вики — на 2,7 ц с 1 га (или 21%), сои — на 2,5 ц с 1 га (или 20%).

Небобовые культуры — семена кукурузы, озимой пшеницы, сахарной свеклы, обогащенные перед посевом молибденом, приобретают повышенную жизнеспособность (улучшается их всхожесть, более интенсивно развиваются корешки).

Молибденовые соли дороги, поэтому методы внесения их в почву должны быть весьма экономичными. Целесообразнее, например, их вносить в рядки или даже вместе с семенами. Именно такой способ позволил увеличить урожай клеверно-злаковой смеси по сравнению с методом внесения удобрения вразброс (в дозе 3 кг на 1 га). Расход солей можно значительно (в несколько сотен раз) сократить, если применять предпосевную обработку семян этим микроудобрением. Для предпосевной обработки семян лучше применять 0,05—1,0-процентный раствор кислых солей. Важно проводить также внекорневое питание растений. С этой целью используют гидромолибдат аммония 0,03—0,05-процентной концентрации в количестве 600 л на 1 га пахотной земли. Молибденовые удобрения действуют в течение ряда лет, и это повышает эффективность их применения. Установлено, например, что достаточно каждые 4 года вносить в почву или осуществлять внекорневое питание молибдатом натрия или аммония в количестве 1—4 кг. Особенно больших результатов дает внесение молибденовых удобрений в засушливые годы. На кислых почвах недостаток молибдена можно устранить также известкованием. Излишне высокие дозы применяемого молибденового удобрения вредны для рас-

тений: они могут вызвать значительные их расстройства, передающиеся затем жвачным животным, потребляющим эти растения в качестве пищи.

КОБАЛЬТОВЫЕ УДОБРЕНИЯ

Кобальтовые удобрения нашли свое применение в агрохимии сравнительно недавно, в последние 20—25 лет, когда убедились, что кобальт положительно влияет на повышение урожайности сельскохозяйственных культур и что он необходим животным.

Как удобрения в настоящее время используют сульфат, нитрат и хлорид кобальта, а в качестве кобальто-фосфорного удобрения — кобальтовый суперфосфат, приготовленный из расчета 1,3—2,7 кг сульфата кобальта на 1 т суперфосфата. Соединения кобальта обнаружены в древесной золе, в золе каменного угля, в торфе и навозе.

Кобальтовые удобрения вносят в почву либо ежегодно из расчета 300—350 г сульфата кобальта (или другой растворимой его соли) на 1 га пашни, либо один раз в 3—4 года по 1—1,5 кг кобальта на 1 га пахотной земли. Значительно больше этого элемента поступает в почву с суперфосфатом кобальта (примерно в дозе 1—2 ц на 1 га).

Опытным путем установлено, что внесение с самолета сульфата кобальта из расчета 1,4 кг на 1 га один раз в 4 года более эффективно, чем ежегодное внесение его по 25% этой же дозы.

Наибольшее количество кобальта сосредоточено в пиритных огарках, фосфоритной муке, марганцовых шламах и в меньших количествах — в суперфосфате из фосфорита, в томасшлаке. Больше всего кобальта поступает в почву с пиритными огарками (72,5 г на 1 га). Значительное количество его поставляет торф (46,5 г на 1 га). Примерно одинаковое количество кобальта (10—11 г на 1 га) получает почва от внесения в нее навоза и фосфоритной муки, меньше всего — от древесной золы, томасшлака и мела.

В последние годы накоплено много данных о применении кобальтовых удобрений для повышения урожайности как бобовых, так и небобовых сельскохозяйственных культур. Применение их на известкованных и дерново-

подзолистых почвах позволяет повысить урожайность клевера, льна, ячменя и озимой ржи. Например, увеличение урожая семян льна от внесения кобальта составляет 0,6—1,5 ц с 1 га пашни. Одновременно возрастают масса семян клевера и количество жира в семенах овса, а также растения становятся более устойчивыми против заболевания ржавчиной.

Опытным путем установлено, что целесообразно использовать под лен совместно с минеральными кобальтовые удобрения из расчета 1—2 кг на 1 га. Небезынтересно отметить, что на неизвесткованных дерново-подзолистых почвах положительное действие микроудобрения было значительно слабее.

Получен также хороший урожай конопли от внесения в почву (10 кг на 1 га) нитрата кобальта. Увеличение ее составило более 4 ц на 1 га пахотной земли при одновременном повышении прочности волокна этой культуры.

На черноземных почвах наблюдается положительное действие кобальтовых удобрений на рост урожая фасоли и сахарной свеклы; отмечено также увеличение сахаристости ее корней. Внесение 1,3 кг на 1 га сульфата кобальта в дерново-подзолистую почву повышает на 23% урожай кукурузы, в которой возрастает содержание хлорофилла, аскорбиновой кислоты и белкового азота. Кобальтовые удобрения положительно влияют на урожай клубней картофеля, являясь при этом сильным активатором синтеза белка этой культуры. Очень полезно за 24 ч до посадки опрыскивать клубни картофеля 0,05-процентным раствором нитрата кобальта в количестве 20 л на 1 т клубней. Имеются сведения также и о повышении урожая винограда, увеличении его сахаристости.

Приведенные данные и другие, имеющиеся в литературе, указывают на перспективность применения таких удобрений, особенно на почвах известкованных и черноземных — на всех почвах с нейтральной или щелочной реакцией. Эффективны кобальтовые удобрения также на торфяно-болотных почвах, страдающих от недостатка многих микроэлементов, не исключая и кобальта.

РАБОТА С МИКРОУДОБРЕНИЯМИ НА ПРИШКОЛЬНОМ УЧАСТКЕ

Главной задачей опытной работы с микроудобрениями на пришкольном участке является закрепление тех знаний, которые учащиеся приобрели из предыдущих разделов книги. Это одна сторона дела. Другая, наиболее важная сторона состоит в том, что благодаря опытным работам учащиеся получают возможность участвовать в решении основной задачи агрономической науки — повышении урожайности сельскохозяйственных культур с помощью эффективного использования микроудобрений, применение которых должно быть обязательно дифференцированно и ни в коем случае не шаблонно.

На пришкольном участке можно ставить опыты с микроудобрениями, позволяющими устанавливать увеличение (прибавки) урожая различных сельскохозяйственных культур. Положительные результаты этих экспериментов могут быть использованы в практике сельскохозяйственного производства.

Такая связь опытной работы школьников с практическими запросами сельского хозяйства является важным условием успеха их проведения.

Опытная работа на пришкольном участке позволяет объективно судить о фактических прибавках урожая в зависимости от сроков, способов и доз внесения микроудобрений. Одновременно представляется возможность оценить отзывчивость растений на микроудобрения в определенных почвенно-климатических условиях.

Рассмотрим теперь методику проведения полевых опытов с микроудобрениями.

Прежде всего любой опыт на пришкольном участке необходимо заранее спланировать, составить схему его

проведения. В соответствии с этой схемой участок необходимо разбить на несколько опытных делянок. Все делянки нумеруют и наносят на план в полевом дневнике (журнале). Размеры их могут находиться в пределах 10—20 м². Микрополевые опыты проводят на делянках площадью 1—5 м². Делянки должны представлять собой вытянутую прямоугольную форму при соотношении ширины к длине 1:10. Такие делянки на пришкольном участке выделяют путем отбивки линий точно под прямым углом.

Желательно участок для проведения опытов иметь в виде ровного и однородного по почвенным условиям поля. В случае если пришкольный участок расположен на небольшом склоне, то делянки следует расположить вдоль склона.

Лучшей формой всего опытного поля является форма, близкая к квадрату. Все делянки, находящиеся на нем при любом их расположении, обеспечивают минимальное расстояние между вариантами опыта, что позволяет лучше сравнивать их между собой.

Проводя опыты на пришкольном участке, надо позаботиться о возможностях повторности опыта. Дело в том, что размер делянки и повторность опыта определяют его точность. Если приходится выбирать между размером участка и повторностью опыта, то предпочтение отдают последней, т. е. повторности опыта, так как это увеличивает точность эксперимента. Недаром Д. И. Менделеев говорил, что опытные данные тогда только заслуживают внимания, когда есть убеждение в умении наблюдателя получать числа возможно точные.

Качество проведения опыта определяется правильностью расчета определенного количества микроудобрений. В большинстве случаев дозы применяемых удобрений приведены в кг на 1 га. При расчете необходимого количества микроудобрений для каждой делянки можно воспользоваться формулой:

$$K = \frac{10^3 \cdot K_1 S}{K_2},$$

где K — количество удобрений на одну делянку в мг; K_1 — доза питательного вещества в кг на 1 га; K_2 — содержание (процент) питательного вещества в удобрении; S — площадь опытной делянки в м².

Расчетное количество удобрений для каждой делянки взвешивают с точностью до 1,0 мг и помещают в пакет с этикеткой, на которой указывают номер делянки, название микроудобрения и его количество. Все эти сведения записывают также в полевом дневнике.

Внесение микроудобрений производят одновременно на всех опытных делянках. Посев сельскохозяйственных культур осуществляют в одинаковое количество рядков или гнезд на каждой делянке и в течение одного дня.

На делянках после появления всходов отбивают защитные полосы шириной 50—60 см, выделяя учетные площадки делянок.

Наблюдение за посевом производят регулярно, через каждые 5 или 10 дней. Результаты наблюдений заносят в полевой дневник. Обязательно отмечают фазу развития и состояние культуры, устойчивость ее к избытку или недостатку влаги, повышенным или пониженным температурам, разницу в развитии по вариантам (высота растения, интенсивность цветения и т. д.), появление болезней, метеорологические условия. Для отдельных культур целесообразно отмечать свои фазы роста и развития. Приведем некоторые примеры.

Зерновые (рожь, пшеница, овес, ячмень, просо, рис) — всходы, появление третьего листа, кущение, выход в трубку (стеблевание), колошение, цветение, молочная, восковая и полная спелость.

Кукуруза — всходы, появление третьего листа, колошение, цветение метелки, молочная, восковая и полная спелость.

Подсолнечник — всходы, начало роста стебля, образование корзинок, цветение, созревание.

Зернобобовые — всходы, начало образования боковых побегов, образование соцветий, цветение, созревание (начало и полная спелость).

Лен-долгунец — всходы, начало роста стебля (можно регистрировать появление третьей пары настоящих листьев), образование головок, цветение (начало, полное, конец), спелость семян (зеленая, ранняя желтая, желтая полная).

Сахарная свекла и другие корнеплоды — всходы, появление первой пары и третьего настоящего листа, начало утолщения подсемядольного колена, увядание наружных листьев.

Картофель — всходы, образование соцветий, цветение, увядание ботвы.

Томат, баклажан, перец — всходы, появление первого листа, образование бутонов, цветение, начало развития плодов, спелость.

Тыквенные (огурец, арбуз, дыня, тыква) — всходы, появление первого и третьего настоящего листа, образование бутонов, цветение, созревание.

Не менее ответственной частью в методике и технике полевых опытов на пришкольном участке является уборка и учет урожая. Уборку проводят тщательно и быстро, а урожай учитывают взвешиванием по делянкам опыта.

Для подведения итогов обрабатывают полученные экспериментальные данные (подсчитывают средние данные по вариантам и разницу между ними, средние прибавки урожаев, пересчитывают урожаи делянок в ц на 1 га и т. д.). Результаты заносят в таблицу урожаев.

Вариант опыта	Урожаи по повторностям	Суммы урожаев по повторностям	Средние урожаи по вариантам	Средняя прибавка урожая
Контроль Первая доза Вторая доза Третья доза				

Рассмотрим теперь схемы некоторых опытов, которые могут быть выполнены на пришкольном или опытном участке.

В качестве примеров для проведения опытов выбраны такие культуры, как пшеница, сахарная свекла, томаты, огурцы. В опытах изучают различные дозы и способы применения микроудобрений.

Опыт 1. **Влияние бора на урожайность пшеницы при внесении его в почву.**

Время проведения опыта — вегетационный период.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — озимая пшеница, которую можно заменить другой озимой зерновой культурой, например ячменем, овсом.

Проводится трехвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Озимая пшеница	Без бора (контроль)	1	4	7
II	» »	С внесением буры 4 кг/га	2	5	8
III	» »	С внесением буры 8 кг/га	3	6	9

Объяснение к опыту. Как видно из схемы, первый вариант опыта проводят на делянках 1, 4, 7; второй — на делянках 2, 5, 8 и третий — на делянках 3, 6, 9.

Результаты опыта (варианты второй и третий) покажут величину урожая по сравнению с контрольным вариантом за счет применения микроудобрений.

Опыт 2. **Влияние бора при внекорневом питании на урожайность пшеницы.**

Время проведения — вегетационный период.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — озимая пшеница или другая зерновая культура.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Озимая пшеница или другая зерновая культура	Без бора (контроль)	1	3	5
II	То же	Раствор борной кислоты 0,015—0,01-процентный	2	4	6

Объяснение к опыту. Опыт проводят в двух вариантах.

Вариант I, проводимый на делянках 1, 3, 5, является контрольным. Озимая пшеница выращивается без внесения борных удобрений. В варианте II на делянках 2, 4, 6 применяется внекорневая подкормка пшеницы бор-

ным удобрением. Ее проводят в вечерние часы. Для опрыскивания используют любое борное удобрение. Содержание бора в растворе должно составлять 200—250 мг на 1 л. Применяют этот раствор в 1—2 приема из расчета 1 м³ на 1 га пашни. Сравнение первого и второго вариантов опыта покажет увеличение урожайности пшеницы под влиянием внекорневой подкормки бором.

Опыт 3. **Влияние предпосевной обработки бором семян пшеницы на ее урожайность.**

Время проведения опыта — вегетационный период.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — озимая пшеница или другая зерновая культура, например, ячмень.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Озимая пшеница или другая зерновая культура (ячмень)	Без бора (контроль)	1	3	5
II	То же	Раствор борной кислоты	2	4	6

Объяснение к опыту. Опыт проводят в двух вариантах. В I контрольном варианте семена пшеницы не смачивают раствором борных удобрений. Эти семена высевают на делянках 1, 3 и 5. Во II варианте семена пшеницы смачивают. Для этого применяют 0,05-процентный раствор борной кислоты из расчета 8—10 л такого раствора на 1 ц семян. Семена смачивают за один прием и высевают на делянках 2, 4 и 6. Посев проводят на дерново-подзолистых и черноземных почвах.

Сравнение результатов урожая по вариантам I и II позволит установить эффективность проведения предпосевной обработки семян бором.

Опыт 4. **Влияние бора при внесении его в почву на урожайность сахарной свеклы.**

Время проведения опыта — весна, лето.

Место проведения опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — сахарная свекла.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Сахарная свекла	Без бора (контроль)	1	3	5
II	» »	Борат магния	2	4	6

Объяснение к опыту. На делянках 1, 3 и 5 микроудобрения не вносят, на делянках 2, 4, 6 вносят борат магния.

Опыт проводят на дерново-подзолистой почве или черноземе. Целесообразно проводить известкование дерново-подзолистых почв, так как бор усиливает положительные действия извести и ослабляет ее отрицательное влияние. В почву вносят борат магния из расчета 7,5 кг этого удобрения на 1 га пашни. Его вносят в почву перед посевом за один прием.

О влиянии бора на урожайность сахарной свеклы можно убедиться из сопоставления результатов I и II вариантов опыта.

Опыт 5. **Влияние бора при внекорневом питании на урожайность сахарной свеклы.**

Время проведения опыта — весна, лето.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — сахарная свекла.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Сахарная свекла	Без бора (контроль)	1	3	5
II	» »	Раствор буры	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант опыта проводят на делянках 1, 3 и 5. На делянках 2, 4 и 6 вносят микроудобрения.

Опыт проводят на дерново-подзолистой почве.

В качестве микроудобрений применяют 0,1-процентный раствор буры из расчета 1 м^3 раствора на 1 га пашни. Опрыскивают растения в вечерние часы.

Сравнение результатов I и II вариантов опыта покажет эффективность внекорневого питания сахарной свеклы бором.

Опыт 6. **Влияние марганца при внесении его в почву на урожайность пшеницы.**

Время проведения опыта — вегетационный период.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — пшеница или другая зерновая культура.

Проводят четырехвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Пшеница или другая зерновая культура	Без марганца (контроль)	1	5	9
II	То же	Сульфат марганца 5 кг/га	2	6	10
III	» »	Сульфат марганца 10 кг/га	3	7	11
IV	» »	Сульфат марганца 15 кг/га	4	8	12

Объяснение к опыту. I вариант опыта проводят на делянках 1, 5, 9; II — на делянках 2, 6, 10; III — на делянках 3, 7, 11 и четвертый — на делянках 4, 8, 12.

Опыт проводят на дерново-подзолистой или черноземной почвах. Сульфат марганца вносят в почву до посева пшеницы.

Разница в урожаях, полученных по вариантам II, III IV и варианту I, покажет влияние марганца на урожай пшеницы.

Опыт 7. **Определение влияния марганца при внекорневом питании на повышение урожайности пшеницы.**

Время проведения опыта — вегетационный период. Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — пшеница или другая зерновая культура.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Пшеница или другая зерновая культура	Без марганца (контроль)	1	3	5
II	То же	Раствор сульфата марганца 0,1-процентного	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант опыта закладывают на делянках 1, 3, 5; вариант II — на делянках 2, 4, 6.

Опыт проводят на дерново-подзолистых и черноземных почвах.

Для внекорневой подкормки пшеницы из расчета на 1 га пашни применяют 500—700 л 0,1-процентного раствора сульфата марганца.

Сравнивая результаты урожаев по I и II вариантам, можно определить влияние внекорневого питания марганцем пшеницы на повышение ее урожайности.

Опыт 8. **Влияние предпосевной обработки семян пшеницы марганцем на ее урожайность.**

Время проведения опыта — вегетационный период. Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле.

Культура — пшеница или другая зерновая культура.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Пшеница или другая зерновая культура	Без марганца (контроль)	1	3	5
II	То же	Раствор сульфата марганца	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант опыта закладывают на делянках 1, 3, 5; по варианту II — на делянках 2, 4, 6.

Семена пшеницы по контрольному варианту не замачиваются в растворе сульфата марганца. По варианту II опыта семена пшеницы обрабатывают 0,05—0,1-процентным раствором сульфата марганца из расчета 8—10 л такого раствора на 1 ц посевного материала.

Для выявления эффективности предпосевной обработки семян пшеницы на ее урожайность сравнивают результаты II варианта с результатами 1 опыта. По разности урожая судят об эффективности рассматриваемого метода.

Опыт 9. **Определение влияния марганца при внесении его в почву на урожайность сахарной свеклы.**

Время проведения опыта — весна, лето.

Место проведения опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — сахарная свекла.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Сахарная свекла	Без марганца (контроль)	1	3	5
II	» »	Сульфат марганца	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант закладывают на делянках 1, 3, 5; на делянках 2, 4, 6 вносят сульфат марганца.

Опыт проводят на черноземной почве.

Сульфат марганца вносят в почву один раз перед посевом в количестве 30 кг на 1 га.

Сопоставление результатов опыта по II и I вариантам дадут представление об эффективности применения марганцовых удобрений.

Опыт 10. **Влияние марганца при внекорневом питании на урожайность сахарной свеклы.**

Время проведения опыта — весна, лето.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — сахарная свекла.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Сахарная свекла	Без марганца (контроль)	1	3	5
II	» »	Сульфат марганца	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант закладывают на делянках 1, 3, 5; на делянках 2, 4, 6 вносят марганцовые микроудобрения. Опыт проводят на дерново-подзолистых или черноземных почвах.

Внекорневую подкормку сахарной свеклы осуществляют в вечерние часы 0,1-процентным раствором сульфата марганца из расчета 800 л раствора на 1 га пашни.

После проведения опыта следует сравнить результаты урожайности II и I вариантов, которые укажут на эффективность внекорневого питания сахарной свеклы.

Опыт 11. **Влияние меди при внесении ее в почву на урожайность пшеницы.**

Время проведения опыта — вегетационный период.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — пшеница или другая любая зерновая культура.

Проводят трехвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Пшеница или другая зерновая культура	Без меди (контроль)	1	4	7
II	То же	Сульфат меди 5 кг/га	2	5	8
III	» »	Сульфат меди 10 кг/га	3	6	9

Объяснение к опыту. I контрольный вариант опыта закладывают на делянках 1, 4, 7; II вариант — на делянках 2, 5, 8; III — на делянках 3, 6, 9.

Опыты проводят на торфяных почвах.

Сульфат меди вносят в почву перед посевом.

Разница в урожае между вариантами I, II и III покажет действие меди в данных условиях.

Опыт 12. **Влияние меди при внекорневом питании на урожайность пшеницы.**

Время проведения опыта — вегетационный период.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — пшеница или любая другая культура.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Пшеница или другая зерновая культура	Без меди (контроль)	1	3	5
II	То же	Сульфат меди	2	4	6

Объяснение к опыту. I контрольный вариант опыта закладывают на делянках 1, 3, 5; II — на делянках 2, 4, 6.

Опыт проводят на торфяных почвах.

В качестве удобрения применяют 0,05-процентный раствор сульфата меди. На 1 га пашни расходуется 0,6—1,0 м³ этого раствора.

Сравнение результатов опытов по вариантам I и II выявит влияние внекорневого питания пшеницы на ее урожайность.

Опыт 13. **Влияние предпосевной обработки медью семян пшеницы на ее урожайность.**

Время проведения опыта —вегетационный период.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — пшеница или другая зерновая культура. Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Пшеница или другая зерновая культура	Без меди (контроль)	1	3	5
II	То же	Раствор медного купороса	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант опыта закладывают на делянках 1, 3, 5; вариант II — на делянках 2, 4, 6.

Семена пшеницы на контрольном варианте не смачивают раствором медного купороса. В варианте II семена смачивают 0,001—0,005-процентным раствором медного купороса. Такая обработка длится 6—12 ч.

Семена, взятые для опыта, высевают в торфяные почвы, бедные медью, что позволяет более четко определить влияние предпосевной обработки семян медным купоросом на урожайность зерновых культур.

Опыт 14. **Влияние меди при внесении ее в почву на урожайность сахарной свеклы.**

Время проведения опыта — весна, лето.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — сахарная свекла.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Сахарная свекла	Без меди (контроль)	1	3	5
II	» »	Медный купорос	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант опыта закладывают на делянках 1, 3, 5; на делянках 2, 4, 6 вносят медный купорос.

Семена сахарной свеклы для получения четких результатов высевают на торфяных почвах.

В качестве удобрения применяют медный купорос из расчета 20—25 кг/га. Это удобрение вносят в почву перед посевом.

Сравнивая данные опытов по урожайности сахарной свеклы, полученные по II и I вариантам, определяют эффективность применения медных удобрений под сахарную свеклу на торфяных почвах.

Опыт 15. **Влияние меди при внекорневом питании на урожайность сахарной свеклы.**

Время проведения опыта — весна, лето.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — сахарная свекла.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Сахарная свекла	Без меди (контроль)	1	3	5
II	» »	Сульфат меди	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант опыта закладывают на делянках 1, 3, 5; вариант II — на делянках 2, 4, 6. Опыт проводят на торфяных почвах.

Для внекорневого питания применяют 0,05-процентный раствор сульфата меди. Расход этого раствора на 1 га пашни составляет ~ 1,0 м^3.

По результатам урожаев I и II вариантов можно судить об эффективности применяемого метода.

Опыт 16. **Влияние цинка при внесении его в почву на урожайность пшеницы.**

Время проведения опыта — вегетационный период.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле.

Культура — пшеница или другая зерновая культура.

Проводят трехвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Пшеница или другая любая зерновая культура	Без цинка (контроль)	1	4	7
II	То же	Сульфат цинка 2 кг/га	2	5	8
III	» »	Сульфат цинка 5 кг/га	3	6	9

Объяснение к опыту. Контрольный вариант закладывают на делянках 1, 4, 7; вариант II — на делянках 2, 5, 8; по варианту III — на делянках 3, 6, 9.

Опыт может быть поставлен на дерново-подзолистой и черноземной почвах. Сульфат цинка вносят в почву непосредственно перед посевом пшеницы. О влиянии цинка на урожайность пшеницы можно убедиться, если сопоставить данные по вариантам I, II, III.

Опыт 17. **Влияние цинка при внекорневом питании на урожайность пшеницы.**

Время проведения опыта — вегетационный период.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — пшеница или другая зерновая культура.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Пшеница или другая зерновая культура	Без цинка (контроль)	1	3	5
II	То же	Раствор сульфата цинка	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант закладывают на делянках 1, 3, 5; вариант II — на делянках 2, 4, 6. При постановке опыта может быть посеяна пшеница на дерново-подзолистой и черноземной почвах.

Для внекорневого питания пшеницы применяют 0,02-процентный (можно 0,05-процентный) раствор сульфата цинка из расчета 800 л на 1 га пашни. Целесообразно проводить двукратное внекорневое питание (опрыскивание), позволяющее значительно увеличить прибавку урожая по сравнению с однократным опрыскиванием.

Опыт 18. **Влияние предпосевной обработки цинком семян пшеницы на ее урожайность.**

Время проведения опыта — вегетационный период.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — пшеница или другая зерновая культура.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Пшеница или другая зерновая культура	Без цинка (контроль)	1	3	5
II	То же	Раствор сульфата цинка	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант опыта закладывают на делянках 1, 3, 5; на делянках 2, 4, 6 вносят цинковые микроудобрения.

На контрольном варианте опыта семена пшеницы не смачиваются раствором сульфата цинка. Во II варианте семена пшеницы смачивают 0,03-процентным раствором сульфата цинка из расчета 8 л такого раствора на 1 ц семян. Опыт проводят на дерново-подзолистой или черноземной почве.

Разница в урожаях, получаемая между I и II вариантами, покажет эффективность предпосевной обработки семян на урожай пшеницы.

Опыт 19. **Влияние цинка при внесении его в почву на урожайность сахарной свеклы.**

Время проведения опыта — весна, лето.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — сахарная свекла.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Сахарная свекла	Без цинка (контроль)	1	3	5
II	» »	Сульфат цинка	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант опыта закладывают на делянках 1, 3, 5; на делянках 2, 4, 6 вносят цинковые микроудобрения. Опыт проводят на дерново-подзолистой или черноземной почве.

В качестве микроудобрения применяют сульфат цинка из расчета 10 кг на 1 га, который вносят перед посадкой сахарной свеклы.

Разница в урожаях, получаемая по II и I вариантам, дает представление об эффективности применения цинковых удобрений при выращивании сахарной свеклы.

Опыт 20. **Влияние цинка при внекорневом питании на урожайность свеклы.**

Время проведения опыта — весна, лето.

Место постановки опыта — школьная делянка, опытный участок в поле. Культура — сахарная свекла.

Проводят двухвариантный опыт с тремя повторностями.

Схема опыта:

Варианты опыта	Культура	Удобрение	Номера делянок по повторностям		
			I	II	III
I	Сахарная свекла	Без цинка (контроль)	1	3	5
II	» »	Сульфат цинка	2	4	6

Объяснение к опыту. Контрольный вариант закладывают на делянках 1, 3, 5; на делянках 2, 4, 6 вносят сульфат цинка. Опыт проводят на карбонатных или дерново-подзолистых почвах.

В качестве микроудобрения вносят 0,025-процентный раствор сульфата цинка. Применяют двукратную подкормку свеклы из расчета 800 л раствора на 1 га.

Об эффективности применения микроудобрения можно судить по разности между урожаями II и I вариантов.

Наряду с полевыми опытами на пришкольном участке можно ставить и вегетационные опыты. Инициатором применения в нашей стране вегетационного метода был К. А. Тимирязев, благодаря которому в 1872 г. в Петровской (Тимирязевской) сельскохозяйственной академии был построен первый вегетационный домик.

Значение вегетационных опытов состоит в том, что они позволяют при исследовании сложных процессов взаимодействия растений, удобрений и почв не только разобраться в тонкостях протекающих процессов, но и быстро выявить и объяснить те причины явлений, которые нельзя понять при проведении опыта в полевых условиях. Вегетационные опыты ставят в различных средах: в водных, песчаных и почвенных. Вегетационные опыты позволяют изучить физиологию поступления питательных веществ в растения и то влияние, которое они оказывают на рост и развитие растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы рассмотрели влияние микроэлементов на рост и развитие растений, установили взаимосвязь между величиной и качеством урожая различных сельскохозяйственных культур от цельнонаправленного использования микроудобрений в сочетании с другими минеральными удобрениями. Эффективность применения микроудобрений на почвах с недостаточным содержанием микроэлементов несомненна. Но в условиях сельскохозяйственного производства бывает не так просто определить, какой из микроэлементов необходим для данного растения. Можно организовать тщательное наблюдение за развитием растений и появлением типичных признаков недостаточности микроэлементов для них. Однако нарушение физиологических функций и снижение продуктивности растений начинается еще до того, как появляются внешние признаки отсутствия в них того или иного микроэлемента.

В настоящее время применяют комплексную диагностику минерального питания. Этот метод поставлен на действительно научные основы. В первый год согласно этому методу проводят анализ почвы — выявляют содержание в ней макро- и микроэлементов, pH, механический состав, наличие органических веществ, оксидов и карбонатов. Принимая во внимание полученную таким путем качественную характеристику почв, определяют дозы применяемых удобрений. В последующие годы количество вводимых удобрений устанавливают из того расчета, чтобы они покрывали дефицит, образующийся вследствие выноса элементов питания с урожаем сельскохозяйственных культур.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ИБ № 995

Феликс Иванович КАБАНОВ

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И РАСТЕНИЯ

Редактор *О. П. Федорович*. Художник *Н. Н. Румянцев*.
Художественный редактор *Т. А. Алябьева*.
Технический редактор *М. М. Широкова*. Корректор *О. С. Захарова*.

Сдано в набор 14/I 1977 г. Подписано к печати 22/IV 1977 г. 84×108¹/₃₂. Бумага типограф. № 2. Печ. л. 4,25. Условн. л. 7,14. Уч.-изд. л. 6,99. Тираж 40 тыс. экз. А03205.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета Совета Министров РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Ордена Трудового Красного Знамени типография издательства ЦК КП Белоруссии. Минск, Ленинский проспект, 79. Заказ № 30.

Цена 18 коп.

18 коп.

